

Magdalena DUDEK*, Piotr TOMCZYK**, Bartłomiej LIS***, Grzegorz MORDARSKI****

Węglowe ogniwa paliwowe – wybrane inicjatywy krajowe

STRESZCZENIE. Jednym z priorytetów polityki energetycznej Unii Europejskiej jest ograniczenie emisji CO₂, pochodzącej z sektora energetycznego. Aby sprostać temu wyzwaniu w Polsce, której energetyka opiera się głównie na elektrowniach spalających węgiel kamienny i brunatny, należy już dzisiaj podjąć odpowiednie przeciwdziałania. Do takich przeciwdziałań należy – między innymi – zwiększenie efektywności wytwarzania energii elektrycznej z paliw kopalnych i wykorzystanie możliwości sekwestracji CO₂. W ostatnich latach obserwuje się szybki rozwój ogniw paliwowych z bezpośrednim utlenianiem węgla – są one efektywnymi generatorami elektryczności, a strumień wytwarzanych w nich gazów wylotowych zawiera, niewymagający wzbogacania, stężony CO₂. W artykule przedstawiono zasadę działania węglowych ogniw paliwowych, ich zalety i wady w stosunku do ogniw paliwowych wodorowo-tlenowych, a także osiągnięty przez nie poziom technologiczny. Przedstawiono również dokonania dwóch ośrodków w Polsce zaangażowanych w rozwój tej technologii: Akademii Górniczo-Hutniczej i Instytutu Katalizy i Fizykochemii Powierzchni PAN im. Jerzego Habera w Krakowie.

SŁOWA KLUCZOWE: paliwo węglowe, ogniwo paliwowe, elektrochemiczne utlenianie węgla

* Dr inż., ** Dr hab., *** Mgr inż. – AGH – Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków.
**** Dr inż. – Instytut Katalizy i Fizykochemii Powierzchni PAN, Kraków.

Wprowadzenie

Spośród państw należących do Unii Europejskiej, Polska charakteryzuje się jednym z najwyższych wskaźników bezpieczeństwa energetycznego, którego podstawą są zasobne, krajowe złoża węgla kamiennego i brunatnego. Pomimo to, wybór strategii rozwoju energetycznego kraju nie jest wcale oczywisty. Z jednej strony polityka dekarbonizacji energetyki UE, przedstawiona chociażby w komunikacie COM (2011) 885/2: *Energy Roadmap 2050*, zakłada obniżenie emisji CO₂ o 95% do 2050 r. (a więc praktycznie wyeliminowanie węgla jako surowca energetycznego). Z drugiej zaś strony, obecny niski poziom opłat za emisje CO₂ wynoszący sporo poniżej 10 Euro/Mg (*EU emission allowance*; EUA) i 0,5 Euro/Mg (*Certified Emission Reductions*; CER) (Handel emisjami CO₂, cire.pl, 2014), przy kosztach separacji CO₂ z gazów odlotowych na poziomie 30–70 Euro/Mg (Kanniche i in. 2010; Zhao, Minett i Harris 2013; Markewitz i in. 2012) oraz szybki rozwój energetyki węglowej w takich krajach jak Chiny i Indie, świadczą o tym, że rynek energetyczny niezbyt ochoczo dostosowuje się do zaleceń UE, kierując się głównie argumentami ekonomicznymi.

Polska, jako członek Unii Europejskiej, nie może całkowicie zignorować jej zaleceń tym bardziej, że mogą one zostać szybko wsparte odpowiednimi rozporządzeniami fiskalnymi (widać to choćby po próbach wprowadzenia tzw. *backloadingu* (Proposal for a Decision COM (2012) 416). Dlatego krajowe inwestycje na rynku energetycznym powinny być realizowane z wykorzystaniem nowych, wysoko efektywnych technologii, których zastosowanie prowadzi do obniżenia poziomu emisji CO₂. Należy również zadbać o rozwój takich technologii, których produktem końcowym jest stężony strumień CO₂, w razie potrzeb, tj. przy wysokich cenach za emisję, możliwy do bezpośredniego składowania, na przykład w głębokich strukturach geologicznych. Trzeba bowiem podkreślić, że proces separacji CO₂ z rozrzedzonych gazów wylotowych jest najdroższym etapem sekwestracji, a jego udział w całkowitych kosztach tego przedsięwzięcia szacuje się na 70–90%.

1. Ogniwa paliwowe – generatory prądu w energetyce rozproszonej

W ostatnich latach, na rynku komercyjnym zaczynają się pojawiać generatory elektryczne ze stosami ogniwi paliwowych. Oprócz zastosowań niszowych (uzbrojenie, kosmonautyka, zasilanie urządzeń przenośnych specjalnego przeznaczenia) coraz częściej testowane są jednostki o małej i średniej mocy (0,5–300 kW) przeznaczone do wytwarzania energii elektrycznej i ciepła dla domów jednorodzinnych i małych obiektów socjalnych (projekt ENE-FARM, generatory firmy UTC, Westinghouse, Mitsubishi – Carter 2013; Behling 2012).

Ogniwa paliwowe są to ogniwa galwaniczne, do których substancje aktywne elektrochemicznie (paliwo i utleniacz), biorące udział w reakcjach elektrodowych, dostarczane są z zewnątrz. Są one wysoko sprawnymi generatorami energii elektrycznej; działają cicho i w trakcie pracy prawie nie wytwarzają substancji szkodliwych, zaś w przypadku zasilania ich paliwami pochodzenia węglowego, strumień gazów wylotowych zawiera skoncentrowany CO₂.

W tradycyjnych ogniwach pierwotnych (zwanymi potocznie bateriami), aktywne elektrochemiczne substancje zmagazynowane są wewnątrz urządzenia, a po ich wyczerpaniu ogniwo nadaje się co najwyżej do recyklingu. W akumulatorach substancje te odnawiane są w trakcie procesu ładowania. Odmienne do ogniw pierwotnych i akumulatorów, ogniwo paliwowe działa – przynajmniej w teorii – tak długo, jak długo dostarczane jest do nich paliwo i utleniacz. Zasada jego działania jest więc bardzo podobna do zasady działania silnika spalinowego – dopóki dopływa do niego paliwo ze zbiornika, może działać bez przerwy. Silnik można zatrzymać, odcinając dopływ paliwa, i ponownie uruchomić, gdy znowu paliwo zostanie dostarczone do urządzenia. Bardzo zaawansowany poziom technologiczny osiągnęły obecnie ogniwa paliwowe zasilane wodorem (paliwo gazowe) lub metanolem (paliwo płynne). Prowadzone są również prace nad ogniwami paliwowymi zasilanymi takimi paliwami jak: kwas mrówkowy, metan, amoniak, tlenek węgla i etanol.

Paliwa pochodzenia węglowego również mogą być stosowane do zasilania ogniw paliwowych, przy czym można to zrobić na dwa sposoby: pośredni i bezpośredni. W pierwszym przypadku węgiel poddawany jest zgazowaniu, a otrzymany gaz syntezowy, zawierający głównie H₂ i CO, poddaje się dalszemu przetworzeniu – w wyniku reakcji pomiędzy parą wodną i CO jest on wzbogacany o dodatkowe ilości H₂. Takim gazem można już zasilać ogniwa paliwowe dostosowane do paliwa wodorowego. W drugim przypadku, węgiel w postaci stałej wprowadzany jest bezpośrednio do ogniwa i tam ulega reakcjom elektrodowym.

Które z tych ogniw paliwowych lepiej nadają się do zastosowania w energetyce? Ogniwa zasilane paliwem wodorowym pochodzącym ze zgazowania węgla niewątpliwie reprezentują obecnie wyższy poziom rozwoju technologicznego i w niedługim czasie będą mogły być wykorzystywane na skalę komercyjną. W Stanach Zjednoczonych i Japonii przeprowadzono już – z pozytywnymi wynikami – testy takich instalacji (High Temperature... 2004; Srinivasan 2000).

Zastosowaniom tego typu ogniw sprzyja rozwój technologii IGCC (*Integrated Gasification Combined Cycle*; obieg sprzężony gazowo-parowy zintegrowany ze zgazowaniem węgla), w którym produkt zgazowania, czyli wodór, kierowany jest do komory spalania turbiny gazowej, ale który również może być wykorzystany do zasilania ogniw paliwowych. Bariery szerszego zastosowania ogniw paliwowych w tym układzie jest wysoka cena urządzeń wynikająca, między innymi, z ich jednostkowej produkcji oraz niezadowalająca trwałość (poniżej zakładanych 40 000 h, przy spadku napięcia pracy wynoszącym 0,2–0,8%/1000 h).

2. Ogniwa paliwowe z bezpośrednim utlenianiem węgla – nowe idee

Podobne problemy występują w ogniwach paliwowych z bezpośrednim utlenianiem węgla (*Direct Carbon Fuel Cell*; DCFC). Jednak ich potencjalna przewaga nad ogniwami paliwowymi zasilanymi wodorem (wymieniona poniżej) powoduje, że badania nad nimi prowadzone są na coraz szerszą skalę (Cao, Sun i Wang 2007; Cooper i Selman 2009) i tak:

1. Napięcie ogniwa DCFC nie zmienia się w trakcie pracy, a dostarczany węgiel może być całkowicie w nim zużyty (w ogniwie paliwowym zasilanym wodorem, napięcie ogniwa spada w miarę zużywania paliwa, a część paliwa gazowego nie jest w ogóle zużywana, ponieważ ogniwa te pracują w trybie przepływowym).

2. Sprawność wytwarzania energii elektrycznej w ogniwie typu DCFC wynosi w praktyce około 80% i znacznie przewyższa efektywność działania ogniw paliwowych zasilanych wodorem (35–65%). Ze względu na wysoką sprawność konwersji w DCFC, ilość CO₂ wytwarzana przy produkcji na przykład 1 kWh energii elektrycznej jest znacznie mniejsza (o 40–50%) niż ilość CO₂ emitowana z siłowni ciepłych w trakcie produkcji takiej samej energii.

3. Gazy wylotowe z ogniwa typu DCFC to skoncentrowany strumień CO₂. CO₂ wytwarzany w trakcie pracy ogniwa izoluje paliwo węglowe od otaczającej atmosfery i zapobiega jego samoistnemu utlenianiu się (spalaniu). W przypadku stosowania węgla jako paliwa ogniw paliwowych, niebezpieczeństwo wybuchu jest nieporównywalnie mniejsze niż dla ogniw paliwowych zasilanych wodorem. Magazynowanie węgla jest też bez porównania łatwiejsze i tańsze niż paliwa wodorowego.

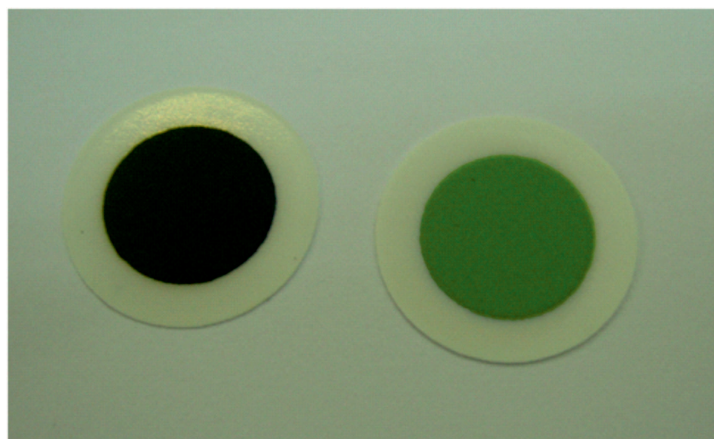
4. Konstrukcja generatorów prądowców z DCFC jest prostsza od konstrukcji generatorów z ogniwami paliwowymi wodorowo-tlenowymi, ponieważ nie wymagają one stosowania reformerów paliwa. Mogą być również zbudowane w pobliżu kopalń, dzięki czemu unika się transportu węgla na znaczne odległości.

Obecnie na świecie prowadzone są badania nad wieloma rodzajami ogniw paliwowych z bezpośrednim utlenianiem węgla. Klasyfikacja tych ogniw zazwyczaj uwzględnia rodzaj stosowanego w nich elektrolitu (nośnika jonów w ogniwie). Do najczęściej badanych i rozwijanych ogniw paliwowych typu DCFC należą ogniwa paliwowe z elektrolitem alkalicznym, stopionym elektrolitem węglanowym oraz stałym elektrolitem tlenkowym. Podjęto również próby konstrukcji hybrydowych takich ogniw; są to układy w których zastosowano co najmniej dwa różne elektrolity lub wprowadzono czynnik pośredni, na przykład płynną mieszaninę metalu z jego tlenkami, pełniący rolę nośnika tlenu pomiędzy redukującą warstwą paliwa węglowego i elektrolitem.

3. Badania krajowe nad węglowymi ogniwami paliwowymi

W Polsce, której wdrożenie technologii ogniw paliwowych z bezpośrednim utlenianiem węgla przyniosłoby istotne korzyści, inicjatywy badawcze podjęte zostały bardzo szybko. Prekursorem tych badań w kraju był prof. Z. Bis (Kobyłecki i Bis 2008). W 2010 r. założone zostało Konsorcjum Węglowe Ogniwa Paliwowe (WOP), w skład którego weszli: PGE Polska Grupa Energetyczna S.A., Katowicki Holding Węglowy S.A., Kompania Węglowa S.A., TAURON Wytwarzanie S.A. Instytut Energetyki, Politechnika Śląska, Instytut Katalizy i Fizykochemii Powierzchni PAN, Politechnika Wroclawska i Akademia Górniczo-Hutnicza.

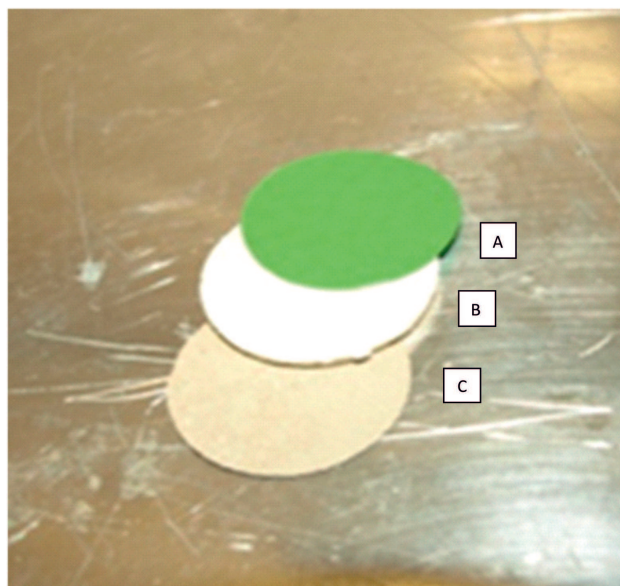
W badaniach prowadzonych przez autorów tej publikacji w Akademii Górniczo-Hutniczej oraz Instytucie Katalizy i Fizykochemii Powierzchni PAN testuje się zazwyczaj ogniwa paliwowe o niedużych gabarytach (o powierzchni elektrod około 1–2 cm²) – wyniki tych badań wykorzystywane są w pracach prowadzonych w Instytucie Energetyki na większych rozmiarowo ogniwach paliwowych (o powierzchni elektrod około 25 cm²). Dzięki małym rozmiarom ogniw paliwowych badanych w AGH i IKiFP PAN uzyskuje się możliwość przeprowadzenia znacznie większej liczby prób, znacznie łatwiej i taniej można wprowadzać nowe materiały konstrukcyjne, a także modyfikować budowę ogniw. W AGH skoncentrowano się na ogniwach z elektrolitem wykonanym ze stałych tlenków, zaś w Instytucie Katalizy i Fizykochemii Powierzchni stosowany jest elektrolit płynny, który stanowią stopione węglany. Na rysunku 1 i 2 przedstawiono zespoły testowanych ogniw w tych ośrodkach.



Rys. 1. Elementy ogniwa paliwowego węglowego ze stałym elektrolitem tlenkowym (a) strona katodowa, (b) strona anodowa

Fig. 1. Components of a direct carbon fuel cell with solid oxide electrolyte: (a) cathode size, (b) anode size

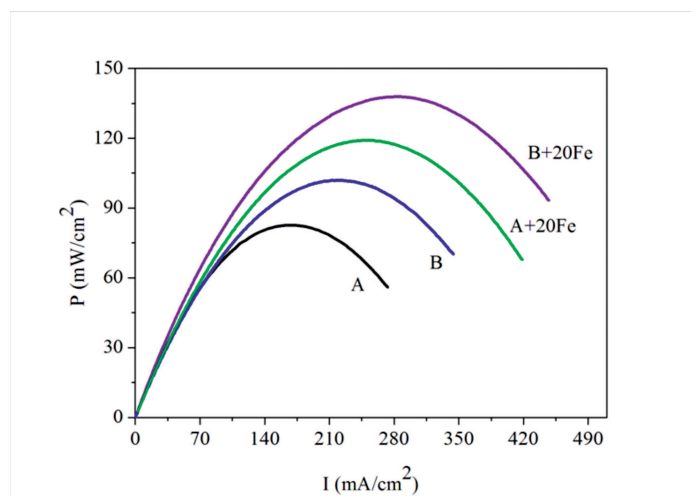
Najważniejsze dane o prowadzonych badaniach w obu wyżej wymienionych jednostkach przedstawione zostały w tabeli 1.



Rys. 2. Elementy ogniwa paliwowego wykonane w IKiFP PAN metodą odlewania foliowego (A) – katoda, (B) – kombinowana matryca $\text{LiAlO}_2 + (\text{Li/K})\text{CO}_3$, (C) – anoda

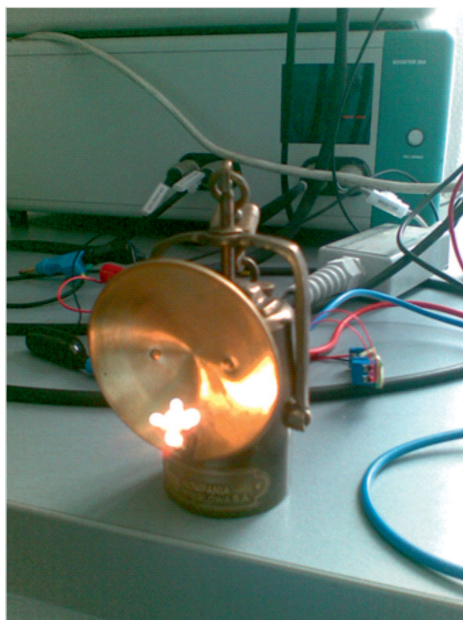
Fig. 2. Components of a fuel cell made in the Institute of Catalysis and Surface Chemistry of the PAS by the Dr. Blade method: (A) – cathode, (B) – combined matrix $\text{LiAlO}_2 + (\text{Li/K})\text{CO}_3$, (C) – anode

Należy podkreślić, że osiągnięcie gęstości mocy ogniwa paliwowego przekraczającej $100\text{--}120\text{ mW/cm}^2$ stanowi o jego potencjalnych zastosowaniach jako stacjonarnego generatora prądu i ciepła w praktyce komercyjnej. Takimi właśnie parametrami cechowały się węglanowe ogniwa paliwowe zasilane wodorem, kiedy w latach 1990–2000 przystąpiono do budowy prototypów tych urządzeń [MC-Power (USA); ERC (USA), FCE (USA), Hitachi (Japonia), IHI (Japonia), MTU CFC Solutions (Niemcy), KEPRI (Korea)]. Zespoły badawcze polskich ośrodków naukowych osiągnęły wyniki, które spełniają to kryterium i są na poziomie reprezentowanym przez czołowe laboratoria światowe. Przykładowe wyniki testów ogniwa ze stałym elektrolitem tlenkowym badanych w AGH przedstawione zostały na rysunku 3, przy czym ogniwa te zasilane były – odpowiednio – sproszkowanym, nieoczyszczonym węglem kopalnym z KWK Piast oraz amorficznym węglem o bardzo wysokiej czystości pochodzenia biomasowego. W tym drugim przypadku zastosowano również katalizator przyspieszający reakcje utleniania węgla oraz ulepszone materiały elektrodowe i elektrolitowe, z których wykonano ogniwo. Porównanie wyników przedstawionych na rysunku 3 wskazuje, że nawet na obecnym etapie prac istnieje możliwość zasilania ogniwa węglowymi paliwami kopalnymi oraz znacznej poprawy parametrów pracy ogniwa DCFC, pod warunkiem opracowania skutecznej i ekonomicznie uzasadnionej metody oczyszczania węgla kopalnych, a także zastosowanie nowych, lepszych materiałów i rozwiązań konstrukcyjnych do budowy ogniwa. Symbolicznym podsumowaniem tego etapu prac było „zaświecenie” miniaturowej lampy górniczej, zasilanej węglowym ogniwem paliwowym (rys. 4).



Rys. 3. Zależności gęstości mocy (P) od gęstości prądu (I) dla węglowego ogniwa paliwowego ze stałym elektrolitem tlenkowym zasilanego nieoczyszczonym węglem kopalnym z KWK Piast (A) i czystym węglem pochodzenia biomasowego (B). Pokazano również wpływ dodatku katalizatora do paliwa (20% wag. żelaza) na charakterystyki ogniwa (A+20Fe i B+20Fe). Temperatura pomiarów 800°C

Fig. 3. Dependences of the power density (P) on the current density (I) for the direct carbon fuel cell with solid oxide electrolyte supplied with non-purified fossil coal from KWK Piast. Effects of catalyst addition to the fuel (20 mass % of iron) on the cell characteristics (A+20Fe and B+20Fe) are also shown. Temperature of the measurements: 800°C



Rys. 4. Model lampki górniczej zasilanej z węglowego ogniwa paliwowego ze stałym elektrolitem tlenkowym

Fig. 4. Model of miner's lamp powered by the direct carbon fuel cell with solid oxide electrolyte

TABELA 1. Opis badań nad węglowym ogniwem paliwowym prowadzonych w Akademii Górniczo-Hutniczej i Instytucie Katalizy i Fizykochemii Powierzchni PAN w Krakowie

TABLE 1. Description of research on direct carbon fuel cells performed in the AGH – University of Science and Technology and the Jerzy Haber Institute of Catalysis and Surface Chemistry of the Polish Academy of Sciences

Rodzaj węglowego ogniwa paliwowego	Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Energetyki i Paliw	Instytut Katalizy i Fizykochemii Powierzchni PAN
1	2	3
Zalety technologii	<ul style="list-style-type: none"> ◇ liczna grupa możliwych do zastosowania materiałów elektrodowych i elektrolitowych ◇ wykorzystanie rozwiązań stosowanych w zaawansowanej technologii ogniw paliwowych zasilanych wodorem typu SOFC ◇ prostota konstrukcyjna ◇ wysoka temperatura pracy (650–950°C) – zwiększona szybkość reakcji, dostarcza wartościowego ciepła ◇ możliwość zasilania różnymi rodzajami węgla ◇ łatwość usuwania popiołów ◇ udział reakcji utleniania CO, pochodzącego z reakcji Boudourda, w wytwarzaniu energii elektrycznej 	<ul style="list-style-type: none"> ◇ prosta i tania konstrukcja ◇ mała wrażliwość na zanieczyszczenia w paliwie węglowym ◇ możliwość zaadaptowania najnowszycy rozwiązań technologii ogniw węglanowych MCFC zasilanych paliwami gazowymi ◇ łatwa konstrukcja systemów dostarczania paliwa węglowego i usuwania popiołów ◇ duża różnorodność możliwych do zastosowania paliw węglowych ◇ zastosowanie węglanów po stronie anodowej zwiększa strefę reakcji utleniania paliwa węglowego
Wady technologii	<ul style="list-style-type: none"> ◇ ograniczona strefa reakcji (obszar kontaktu: paliwo-elektroda-elektrolit) ◇ wysoka temperatura pracy – korozja wysokotemperaturowa ◇ wrażliwość na zawartość zanieczyszczeń w węglu (szczególnie związków siarki) 	<ul style="list-style-type: none"> ◇ silnie agresywne środowisko (konieczność stosowania specjalnych materiałów lub specjalnych pokryć – wersja kosztowniejsza lub wymiana elementów – wersja tańsza) ◇ utieczka (odparowywanie) elektrolitu ◇ degradacja katody w trakcie pracy ogniwa ◇ ograniczenia temperatury pracy ogniwa ◇ ograniczenia prądów obciążenia
Najważniejsze kierunki badań	<ul style="list-style-type: none"> ◇ wpływ typu i sposobu przygotowania paliwa węglowego na parametry pracy ogniwa. Testy z wybranymi węglami pochodzenia biomasowego i węglami kopalnymi. Oczyszczanie węgla kopalnych 	<ul style="list-style-type: none"> ◇ równoległe badania dwóch konfiguracji ogniwi: z katodą omywaną ciekłymi węglanami i katodą omywaną mieszaną gazową ◇ optymalizacja warunków pracy ogniwa

TAB. 1 cd.

TAB. 1 cont.

1	2	3
Osiągnięcia	<ul style="list-style-type: none"> ◇ osiągnięcie maksymalnej gęstości mocy ogniwa paliwowego zasilanego surowymi węglami kopalnymi około 100 mW/cm² ◇ osiągnięcie maksymalnej gęstości mocy ogniwa paliwowego zasilanego oczyszczonymi węglami kopalnymi oraz węglami pochodzenia bionasowego 120–180 mW/cm² 	<ul style="list-style-type: none"> ◇ opracowanie technologii wytwarzania elementów ogniwa DC-MCFC metodą odlewania foliowego, która daje możliwość powiększania rozmiarów ogniwa ◇ osiągnięcie maksymalnej gęstości mocy ogniwa paliwowego DC-MCFC zasilanego surowymi węglami kopalnymi ok. 100 mW/cm² w temperaturze 800°C

Podsumowanie

Po osiągnięciu wymiernych sukcesów w dotychczas prowadzonych pracach badawczo-rozwojowych, przed krajowymi zespołami badawczymi stoją następane trudne zadania: wyeliminowanie niepożądanych efektów zanieczyszczeń znajdujących się w węglach kopalnych na pracę ogniwa w trakcie długotrwałej prób pod obciążeniem (co najmniej kilkutygodniowych), znalezienie sposobów na stabilizację parametrów pracy ogniwa w tym okresie, a następnie przystąpienie do budowy pierwszych zespołów (stosów) ogniwa paliwowych z nastawieniem na zastosowania komercyjne w przyszłości. Budowa sprawnie działającego generatora z węglowym ogniwem paliwowym i wprowadzenie go na rynek za rozsądną cenę, przyniosłyby społeczeństwu i krajowi wymierne korzyści w specyficznych polskich warunkach (bogate złoża węgla) w przypadku zaostrzenia polityki emisyjnej przez UE.

Literatura

- BEHLING, N.H. 2012. Fuel Cells: Current Technology Challenges and Future Research Needs (First ed.). Elsevier Academic Press.
- CAO, D., SUN, Y. i WANG, G. 2007. Direct carbon fuel cell: Fundamentals and recent development. *Journal of Power Sources*, vol. 167, pp. 250–257.
- CARTER, D. 2013. Latest Development in the Ene-Farm Scheme. Fuel Cell Today: <http://www.fuelcelltoday.com/analysis/analyst-views/2013/13-02-27-latest-developments-in-the-ene-farm-scheme>.
- COOPER, J.F. i SELMAN, J.R. 2009. Electrochemical oxidation of carbon: a review. *ECS Transaction*, vol. 19, No. 14, p. 15.
- Fuel Cell Handbook (Fifth Edition), U.S. Department of Energy, Morgantown, 2000.
- Handel emisjami CO₂, cire.pl, 2014: <http://www.cire.pl/handelemisjamiCO2/odcinki.html>.
- High Temperature Solid Oxide Fuel Cells: Fundamentals, Design and Applications, Red. Singhal C., Kendall K., Elsevier, Amsterdam, 2004.
- KANNICHE M. i in. 2010. Pre-combustion, post-combustion and oxy-combustion in thermal power plant for CO₂ capture. *Applied Thermal Engineering*, vol. 30, pp. 53–62.
- KOBYŁECKI, R. i BIS, Z. 2008. Węglowe ogniwo paliwowe – wysoko sprawne źródło czystej energii elektrycznej. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal* t. 11 z. 1, str. 219–226.
- Komunikat COM (2011) 885/2: „Energy Roadmap 2050”:
http://ec.europa.eu/energy/energy2020/roadmap/doc/com_2011_8852_en.pdf
- MARKEWITZ, P. i in. 2012. Worldwide innovations in the development of carbon capture technologies and the utilization of CO₂. *Energy and Environmental Science*, vol. 5, pp. 7281–7305.
- Proposal for a Decision COM (2012) 416:
<http://www.cep.eu/en/analyses-of-eu-policy/climate-protection/backloading>.
- SRINIVASAN, S. 2006. Fuel Cells. From Fundamentals to Applications. Springer, N.Y., p. 378.
- ZHAO, M., MINETT, A.I. i HARRIS, A.T. 2013. A review of techno-economic models for the retrofitting of conventional pulverised-coal power plants for post-combustion capture (PCC) of CO₂. *Energy and Environmental Science*, vol. 6, pp. 25–40.

Magdalena DUDEK, Piotr TOMCZYK, Bartłomiej LIS, Grzegorz MORDARSKI

Direct carbon fuel cells – selected domestic activities

Abstract

EU energy policy has given high priority to the reduction of CO₂ emissions, first and foremost the emissions from the power industry. To meet this challenge, especially in Poland where the power industry is based on hard and brown coal power plants, adequate countermeasures should be undertaken as soon as possible. One possible approach is to increase the efficiency of electricity production from fossil fuels, together with the employment of CO₂ sequestration. Recently, there has been vigorous development in the area of direct carbon fuel cells, effective generators of electricity whose single byproduct of operation is concentrated CO₂. This paper describes the fundamentals of operation of direct carbon fuel cells, their advantages and disadvantages in comparison to hydrogen-oxygen fuel cells, as well as their technological status. The analysis also reviews the achievements of two research centres in Krakow, Poland which are involved in the development of this technology, the AGH – University of Science and Technology and the Jerzy Haber Institute of Catalysis and Surface Chemistry of the Polish Academy of Sciences.

KEY WORDS: fuel cell, direct carbon fuel cell, DCFC, electromechanical oxidation of carbon

