Grzegorz Demusiak
Instytut Nafty i Gazu, Oddział Warszawa

Gazowe ogniwa paliwowe do użytku domowego

Stacjonarne ogniwa paliwowe małej mocy zasilane gazem ziemnym. Typy ogniw

Ogniwa paliwowe stanowią nowy rodzaj urządzeń, umożliwiających wysokoefektywne przetwarzanie energii chemicznej paliwa gazowego (zwykle wodoru lub paliwa wodoronośnego) na drodze reakcji elektrochemicznej – w energię elektryczną i ciepło; bez konieczności spalania gazu i wykorzystania pośrednictwa energii mechanicznej, jak to ma miejsce np. w silnikach czy turbinach gazowych. Niektóre ogniwa mogą być zasilane nie tylko wodorem, ale także gazem ziemnym lub tzw. reformatem (gazem reformowanym), pochodzącym z przetwarzania paliwa węglowodorowego. Obecnie podstawowym źródłem paliwa wodorowego dla stacjonarnych ogniw paliwowych jest gaz ziemny i zapewnie pozostanie nim nadal w najbliższej przyszłości – aż do czasu znacznego sczerpania światowych złóż tego paliwa. Właśnie to przesądza o dużym zainteresowaniu światowego przemysłu gazowniczego tą szybko rozwijającą się technologią wykorzystania gazu ziemnego.

W zakresie mocy elektrycznej ogniw od 1 do 5 kW, dla urządzeń zasilanych gazem ziemnym przeznaczonych do długotrwałej eksploatacji (docelowo co najmniej 40 000 godzin pracy), czyli odpowiadających wykorzystaniu ich jako układów kogeneracyjnych dla sektora odbiorców domowych, można wyróżnić dwa rodzaje stosowanych dotychczas rozwiązań.

Pierwsze z nich to ogniwa niskotemperaturowe typu PEM, z membraną polimerową lub – według innego wyjaśnienia tego terminu – z membraną protonowymienną (*Polymer Electrolite Membrane Fuel Cell* lub *Proton Exchange Membrane Fuel Cell*). W podstawowej wersji są one zasilane tzw. reformatem, tj. paliwem gazowym zawierającym głównie wodór, otrzymywanym z np. reformowania gazu ziemnego, przy czym bardzo istotne w takim przypadku jest dokładne odsiarczenie gazu i możliwie całkowite usunięcie z niego tlenku węgla. Spełnienie tego warunku dla ogniw małej mocy jest dość kłopotliwe i stąd – o ile stosunkowo długotrwała eksploatacja ogniw typu PEM zasilanych tylko czystym wodorem jest jeszcze możliwa – równie długi okres prawidłowej pracy takiego ogniwa zasilanego gazem ziemnym jest nadal trudny do osiągnięcia.

Drugim typem ogniwa możliwym do zastosowania w sektorze odbiorców domowych są ogniwa wysokotemperaturowe stałotlenkowe, tzw. ceramiczne, z elektrolitem złożonym ze stałych tlenków, typu SOFC (*Solid Oxide Fuel Cell*). Są to nowsze konstrukcje, mniej rozpowszechnione od ogniw z membraną polimerową, ale wykazujące istotną zaletę w porównaniu z ogniwami niskotemperaturowymi. W niektórych rozwiązaniach technicznych mogą one być zasilane bezpośrednio gazem ziemnym, jedynie z zastosowaniem wstępnego reformowania wyższych węglowodorów. Wynika to z własności katalitycznych (w wysokiej temperaturze) części materiałów stosowanych do budowy ogniw paliwowych wysokotemperaturowych. Jednak również i te ogniwa zdecydowanie łatwiej zasilać czystym wodorem niż paliwem węglowodorowym. Konieczne jest również dokładne odsiarczenie gazu, a stosunkowo dużym problemem eksploatacyjnym jest degradacja ogniwa podczas jego długotrwałej pracy w wysokiej temperaturze. Szczególnie groźne dla trwałości urządzenia są powtarzające się, nieplanowane i niepożądane cykle schładzania ogniwa do temperatury otoczenia i jego ponownego rozgrzewania – w przypadku awarii lub dłuższej przerwy w pracy. Zaletą tych ogniw jest z kolei ich potencjalnie wysoka sprawność elektryczna, z reguły wyższa niż innych, zbliżonych wielkością generatorów elektrycznych zasilanych gazem ziemnym.

Znane są również inne typy ogniw paliwowych zasilanych gazem ziemnym, ale są to ogniwa o dużej mocy,

zwykle co najmniej od kilkudziesięciu do kilkuset kilowatów. Są to skomercjalizowane już wcześniej, dość szeroko stosowane ogniwa typu PAFC (ogniwa kwasu fosforowego – *Phosphoric Acid Fuel Cell*) oraz nowsze ogniwa typu MCFC (ogniwa z elektrolitem w postaci stopionych węglanów, węglanowe – *Molten Carbonate Fuel Cell*), których konstrukcje są jednak obecnie stosunkowo mało rozpowszechnione. Niestety, te dwa ostatnie typy ogniw, ze względu na swoją złożoność, praktycznie nie mogą być stosowane w przypadku urządzeń małej mocy, które w chwili obecnej zarówno polski, jak i światowy przemysł gazowniczy interesują najbardziej.

Problemy związane z komercjalizacją gazowych ogniw paliwowych do użytku domowego

Problem zapewnienia możliwości długotrwałej (przez wiele lat) stabilnej eksploatacji ogniw paliwowych zasilanych gazem ziemnym nadal stanowi wyzwanie dla wielu firm i zespołów badawczych na całym świecie, a uzyskanie względnie taniego, niezawodnego i trwałego produktu, możliwego do powszechnego zastosowania, znacznie się wydłuża – w porównaniu do wcześniejszych planów i oczekiwań. W rozwiązywaniu tego zagadnienia uczestniczy wiele znanych, światowych firm gazowniczych i producentów gazowych urządzeń grzewczych, widząc w nim szansę na częściowe wyparcie z rynku energetycznego tradycyjnych dostawców energii elektrycznej, poprzez umożliwienie odbiorcom domowym jednoczesnego wytwarzania w sposób rozproszony energii elektrycznej i ciepła, przy wykorzystaniu jako paliwa gazu ziemnego. Firmy, które skutecznie rozwiążą to zadanie i zrobią to możliwie szybko, uzyskają wyraźną przewagę nad konkurentami.

Ogniwa tego typu nie zostały jeszcze do tej pory skomercjalizowane, dlatego też zainteresowane przedsiębiorstwa bardzo dokładnie strzegą tajemnicy swoich prototypowych rozwiązań. Firmy te szukają nowych źródeł finansowania swoich prac badawczo-wdrożeniowych, a w poszukiwaniu dodatkowych funduszy wycofują się nawet z możliwości sprzedaży ogniw, dostępnych na rynku światowym już wcześniej (jak np. miało to miejsce w przypadku firmy Plug Power Inc.). Dla producentów ogniw paliwowych małej mocy (rzędu 1–5 kW), zasilanych gazem ziemnym, nadal dużym problemem jest zapewnienie odpowiednio długiego okresu ich eksploatacji – rzędu kilku lat, co z kolei jest istotne dla ważnego sektora odbiorców domowych (*Residential Sector*). Jest to zdecydowanie łatwiejsze w przypadku wykorzystania ogniw paliwowych jako zasilaczy awaryjnych, tzw. UPS-ów, gdzie nie jest wymagany tak długi okres ich pracy (wystarczy łączny czas do 1500 godzin), a urządzenia pracują jedynie okresowo, w przypadku awarii podstawowego źródła energii elektrycznej. I takie właśnie ogniwa (a zwłaszcza ogniwa zasilane wodorem) są już dostępne komercyjnie i nabycie ich nie stanowi obecnie istotnego problemu. Natomiast potencjalni producenci ogniw stacjonarnych do użytku domowego – widząc, że ich konstrukcje nie są w pełni dopracowane i nie mogąc zapewnić im taniego, niekłopotliwego dla siebie serwisowania i odpowiedniej ich żywotności – rezygnują tymczasowo z wprowadzania danego produktu na otwarty rynek.

Taka właśnie sytuacja miała miejsce niedawno w przypadku jednej z najważniejszych światowych firm w dziedzinie opracowania konstrukcji i produkcji ogniw tego typu – amerykańską Plug Power Inc. Wycofała się ona ze sprzedaży swojego ogniwa paliwowego typu GenSys 4C, o mocy elektrycznej 4 kW (przy częstotliwości prądu 50 Hz – na rynek europejski), nie rozpoczęła też jeszcze produkcji seryjnej modelu GenSys 5C, o mocy 5 kW, przy częstotliwości 60 Hz – na rynek amerykański. Również inna przodująca światowa amerykańska firma Ida Tech Corp. wycofała się przejściowo z produkcji swojego ogniwa Eta Gen 5 o mocy 4,6 kW.

Według Amerykańskiej Komisji Ogniw Paliwowych (*USA Fuel Cell Council*) ogniwo paliwowe można uznać za komercyjne, gdy:

– oferuje się je publicznie do sprzedaży,
– oferuje się je z pisemną gwarancją, popartą przez zapewnienie sprawnego serwisowania ogniwa,
– produkt spełnia zaaprobowane standardy przemysłowe lub jest certyfikowany przez ustanowione organizacje przemysłowe.

Według dostępnych informacji, takie ogniwo paliwowe; o mocy z zakresu od 1 do 5 kW, zasilane gazem ziemnym, przeznaczone do długotrwałego (jak dla odbiorców domowych) użytkowania, w umiarkowanej cenie, z pełnym serwisowaniem i stanowiące w pełni własność nabywcy, bez konieczności zachowania poufności co do uzyskiwanych wyników badań – obwarowanej koniecznością uzyskiwania zgody od producenta ogniwa na ich ujawnienie – nie jest jeszcze dostępne komercyjnie. Sytuacja ta powinna jednak się zmienić w perspektywie kilku najbliższych (przypuszczalnie 2–4) lat. Nowe rozwiązania techniczne ogniw paliwowych są coraz lepsze, coraz bardziej trwałe, niezawodne i sprawne. Światowe firmy budują obecnie fabryki, w których będzie prowadzona produkcja seryjna

tych urządzeń, w planowanych ilościach po kilkadziesiąt tysięcy rocznie – co powinno prowadzić do zdecydowanego obniżenia kosztu ich wytwarzania i eksploatacji (serwisowania i wymiany zużytych elementów).

Przykłady rozwiązań konstrukcyjnych ogniw paliwowych zasilanych gazem ziemnym

Szerokie rozpowszechnienie ogniw paliwowych zasilanych gazem ziemnym może istotnie wpływać na zwiększenie roli przedsiębiorstw gazowniczych w gospodarce. Na położenie firm światowych zajmujących się ogniwami paliwowymi niewątpliwie niekorzystny wpływ miał – a właściwie ma nadal – światowy kryzys finansowy i gospodarczy, utrudniający zdobywanie przez przyszłych wytwórców ogniw funduszy na realizację nowych prac badawczych i uruchomianie produkcji seryjnej. Amerykańska firma Plug Power Inc., będąca przez długi czas światowym liderem w dziedzinie prac nad ogniwami z membraną polimerową, wkrótce będzie dostarczać do Indii dla firm telekomunikacyjnych ogniwa paliwowe niskotemperaturowe GenSys zasilane gazem płynnym (LPG), natomiast dla odbiorców domowych zostanie uruchomiona produkcja ogniw membranowych tzw. wysokotemperaturowych, o temperaturze pracy podwyższonej do 160–180ºC. Istotną wadą urządzeń niskotemperaturowych (pracujących w temperaturze poniżej 100ºC) była dotąd niewystarczająca odporność ogniwa na zatrucie tlenkiem węgla, pozostającym w reformacie otrzymywanym z gazu ziemnego. Nowa seria urządzeń będzie bardziej odporna na zatrucie CO, jednak nowy produkt, a właściwie prototyp ogniwa paliwowego o nazwie GenSys Blue, nie został jeszcze skomercjalizowany i wymaga dalszych badań.

Także IdaTech Corporation – druga firma z dużym doświadczeniem w dziedzinie ogniw paliwowych nie wdrożyła jeszcze do produkcji masowej następcy swojej wcześniejszej konstrukcji ogniwa o nazwie Eta Gen 5. Firma obecnie prowadzi prace nad nowymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi, a potencjalnym nabywcom poleca tylko ogniwa zasilane wodorem (jako UPS) lub reformatem otrzymywanym z metanolu (alkoholu metylowego), co jest łatwiejsze do realizacji niż skonstruowanie ogniwa zasilanego gazem ziemnym.

Trzecim potencjalnym dostawcą ogniw małej mocy do użytku domowego może być inna amerykańska firma – Acumentrics Corporation, zajmującą się ogniwami stałotlenkowymi (typu SOFC). Również i tej firmie, pomimo wcześniejszych takich zamierzeń, nie udało się uruchomić seryjnej produkcji ogniw małej mocy przeznaczonych do użytku domowego. Acumentrics pracuje obecnie wspólnie z włoską firmą MTS nad ogniwem AHEAD, o mocy elektrycznej 1 kW, wyposażonym w dodatkowy grzejnik gazowy o mocy 24 kW (energii cieplnej), do użytku domowego.

Czwartym potencjalnym dostawcą omawianych ogniw paliwowych dla odbiorców domowych jest firma BAXI Innotech GmbH (Wielka Brytania i Niemcy), w skład której weszła niemiecka firma European Fuel Cell GmbH, która od kilku lat prowadzi prace nad prototypem ogniwa typu PEM o mocy elektrycznej 1–2,5 kW.

Kolejną firmą od lat zajmującą się opracowaniem konstrukcji ogniwa paliwowego zasilanego gazem ziemnym do użytku domowego jest szwajcarska firma Hexis, wcześniej znana pod nazwą Sulzer-Hexis AG, przeżywająca ostatnio znaczne trudności po opuszczeniu jej przez firmę Sulzer. Firma kontynuuje prace związane z badaniem kolejnego prototypu ogniwa o nazwie Galileo (ogniwo typu SOFC), o mocy elektrycznej ok. 1 kW. Według wcześniejszych przewidywań, ogniwo to miało być skomercjalizowane już wcześniej, ale realizacja tych zamierzeń została poważnie opóźniona.

Interesujące są plany produkcyjne amerykańskiej firmy Versa Power, która w perspektywie kilku najbliższych lat ma szanse na komercjalizację swojego ogniwa typu SOFC. Obecnie firma ta buduje własną wytwórnię ogniw paliwowych w USA.

Inna, bardzo znana kanadyjska firma Ballard Power Systems – duży, światowy wytwórca ogniw typu PEM (z membraną polimerową), wytwarzająca ogniwo FC Gen-1030 o mocy elektrycznej 1 kW – pracująca wspólnie z firmą Ebara Ballard (kanadyjsko-japońską) nad pozostałymi elementami systemu (BOP – *Balance of Plant*) i reformerem paliwa węglowodorowego (japońskie firmy Tokyo Gas Co. i Nippon Oil Corporation) prowadzi obecnie prace nad wprowadzeniem na rynek japoński ogniwa o mocy około 1 kW. W Japonii prowadzony jest duży program demonstracyjno-testowy ogniw paliwowych o mocy około 1 kW, koordynowany przez rząd japoński.

Niewątpliwie dosyć perspektywiczną firmą, jeśli chodzi o możliwość zakupu w przyszłości ogniwa paliwowego, może być amerykańsko-włoska Nuvera Fuel Cell Inc. Pracuje ona nad ogniwem o mocy elektrycznej 4,6 kW, ale obecnie zakup tego ogniwa na warunkach komercyjnych jest niemożliwy.

Prace nad opracowaniem prototypu ogniwa o mocy 5 kW prowadzi również firma Siemens Power Corporation,

będąca dostawcą elementów do Fuel Cell Technologies (obie firmy pochodzą z USA).

W Europie, w niedalekiej przeszłości, testy ogniwa o nazwie Fuel Cell Heating Appliance (układ kogeneracyjny zasilany gazem ziemnym), opartego na ogniwie firmy Plug Power Inc., prowadziła znana firma niemiecka produkująca gazowe urządzenia grzewcze – Vaillant GmbH. Firma ta obecnie kontynuuje intensywne prace badawcze w dziedzinie ogniw paliwowych do użytku domowego.

Interesującym dostawcą ogniw paliwowych w przyszłości może być amerykańska firma Clear Edge Power. Pracuje ona obecnie nad prototypem ogniwa o nazwie CE 5 o mocy 5 kW, ale nie przewiduje w okresie najbliższego roku, czy dwóch lat, sprzedaży urządzeń poza USA. Pierwsze testy polowe ogniwa będą prowadzone wkrótce w Kalifornii.

Wydaje się, że w okresie najbliższych 2–5 lat jedną z najbardziej perspektywicznych grup wytwórców ogniw paliwowych zasilanych gazem ziemnym (lub innymi paliwami węglowodorowymi), które będą mogły być stosowane w sektorze odbiorców domowych są firmy uczestniczące w masowych testach tych urządzeń prowadzonych obecnie w Japonii. Firmy te wytwarzają po kilkaset sztuk prototypów ogniw (typu PEM i SOFC) rocznie na potrzeby tego projektu, w znacznym stopniu finansowanego przez rząd japoński. Są to ogniwa o mocy elektrycznej około 1 kW, które są w stanie pokryć większość zapotrzebowania na energię elektryczną przeciętnego jednorodzinnego domu japońskiego. Przewiduje się, że w ciągu najbliższych 2–5 lat najlepsi wytwórcy osiągną zdolność produkcyjną kilkudziesięciu tysięcy jednostek tego typu rocznie, a ceny wielu ogniw (przy dofinansowaniu agencji rządowych) powinny być dość wyraźnie niższe od 10 000 USD, co byłoby olbrzymim postępem w stosunku do cen urządzeń wytwarzanych obecnie (jeszcze jako jednostek prototypowych). Testy te organizowane są przez poszczególne regionalne japońskie firmy gazownicze, współpracujące z krajowymi i światowymi producentami ogniw. Są to kolejno: Tokyo Gas Co. (współpraca z firmami: Kyocera, Gastar and Rinnai International Fuel Cell Corporation), Osaka Gas Co. (współpraca z firmami: Matsushita (Panasonic), Sanyo, Ebara Ballard Corp. i Toshiba), Nippon Oil Corp. (współpraca z Cosmo Oil Co. oraz Japan Energy Corporation), a także Toho Gas Co., Saibu Gas Co. oraz Artmos Energy Corporation (współpraca z Idemitsu Kosan Co. oraz Mitsubishi Corp.). W pracach uczestniczą też m.in. firmy Fuji Electric Advanced Technology Corporation oraz Ishikawajima Harima Heavy Industries. Wytwórcy ogniw paliwowych na razie nie mogą (lub nie chcą) uruchamiać sprzedaży swoich nie dopracowanych jeszcze produktów, którym nie będą mogli zapewnić właściwego serwisowania, natomiast – po oczekiwanym sukcesie swoich produktów w Japonii – zamierzają one stopniowo otwierać się na rynek amerykański i europejski. Obecnie kupienie ogniwa w którejkolwiek z tych firm jest niemożliwe, ale w perspektywie najbliższych kilku lat, prawdopodobnie po roku 2011, powinno się to zmienić. Najlepsze firmy powinny pozostać na rynku ze swoimi sprawdzonymi w praktyce produktami, oferowanymi w stosunkowo umiarkowanej cenie, np. około 5500 USD/szt., przy założonej produkcji 40 000 sztuk rocznie w 2015 roku – jak przewiduje to jedna z firm uczestniczących w projekcie.

Kolejne dwie perspektywiczne firmy, których produkty mogą w ciągu najbliższych 2–5 lat wejść na rynek stacjonarnych ogniw paliwowych małej mocy do użytku domowego, są: australijska firma Ceramic Fuel Cells Ltd. i brytyjska firma Ceres Power.

Najnowszym produktem firmy Ceramic Fuel Cells jest generator Blue Gen, o mocy elektrycznej do 2 kW i jeszcze wyższej sprawności elektrycznej od poprzedniego prototypu: 50% (w odniesieniu do wartości opałowej). Jest to wartość wysoka, znacznie wyższa od sprawności innych generatorów elektrycznych tej wielkości. Blue Gen jest konstrukcją bardzo udaną (w testach, zakończonych w lutym 2008 roku w Australii, ogniwo to uzyskało najwyższą sprawność elektryczną spośród wszystkich ogniw paliwowych na świecie: 60,1%). Urządzenie to jest również stosunkowo odporne na degradację – przeciętny spadek mocy ogniwa wynosił w omawianych testach zaledwie 0,6%/1000 godzin pracy. Jest to więc niewątpliwie rozwiązanie perspektywiczne. Firma CFCL zbudowała niedawno dwie fabryki ogniw paliwowych: w Niemczech i Wielkiej Brytanii, które będą wykorzystywane w produkcji podzespołów. Podjęcia seryjnej produkcji tych ogniw paliwowych można spodziewać się za około 2–3 lata. Obecny produkt – ogniwo Blue Gen – nie jest jeszcze produktem komercyjnym, a nadal tylko kolejnym prototypem, ale wydaje się być już rozwiązaniem dojrzałym technicznie.

Kolejnym potencjalnym dostawcą ogniwa paliwowego dla sektora odbiorców domowych – choć jeszcze nie w chwili obecnej, a dopiero po komercjalizacji produktu, oczekiwanej już w 2011 roku – jest brytyjska firma Ceres Power. Opracowała ona bardzo ciekawą konstrukcję ogniwa stałotlenkowego (SOFC), a więc wysokotemperaturowego, ale o mocno obniżonej temperaturze pracy: do 500–600°C. Jest to więc bardziej ogniwo średniotemperaturowe niż wysokotemperaturowe (zwykle 900–1050°C). Pozwala to na zastosowanie tańszych materiałów konstrukcyjnych oraz wydłużenie oczekiwanego okresu użytkowania ogniwa.

Moc elektryczna ogniwa wynosi 1 kW, a roboczo określa się je jako model Alpha CHP (Alpha Combined Heat and Power). Firma ma poważne osiągnięcia techniczne i technologiczne w budowie ogniw i już buduje fabryki, w których będą one wytwarzane (w Wielkiej Brytanii). Ogniwo będzie miało kształt zwykłego pieca grzewczego, który będzie mógł być zawieszony na ścianie, np. w kuchni, pośród szafek kuchennych, i jednocześnie ogrzewać dom (mieszkanie), przygotowywać ciepłą wodę użytkową oraz generować prąd elektryczny. Jest to opcja interesująca i w tym kierunku idą też inni przyszli producenci ogniw paliwowych przeznaczonych do użytku domowego.

Wszystkie powyższe informacje nie wyczerpują listy potencjalnych dostawców ogniw paliwowych. Mogą to być głównie firmy europejskie, amerykańskie, kanadyjskie i japońskie, m.in. także Axane, Energreen, Hydra, Independent Power Technology, Topsoe Fuel Cell, Vartsille, Eneos CellTech, Morphic, Dantherm Power, Inteligent Energy, Viessmann Werke, a także np. Staxera i Nedstack, oraz wiele innych, nie wymienionych tutaj. Są to zwykle producenci całych jednostek ogniw paliwowych, ale czasami także samych stosów ogniw, którzy już mają pewne osiągnięcia w tej dziedzinie. Jednak według naszej obecnej wiedzy, żadna z tych firm nie osiągnęła jeszcze etapu komercjalizacji swojego produktu, tj. podjęcia produkcji seryjnej jednostek ogniw paliwowych zasilanych gazem ziemnym, które mogłyby być podstawowymi źródłami energii elektrycznej (i ewentualnie także ciepła) dla sektora odbiorców domowych. Sytuacja ta może jednak w ciągu najbliższych kilku lat znacznie się zmienić i właśnie to może stanowić długo oczekiwany przełom w dziedzinie powszechnego zastosowania ogniw paliwowych, dla których podstawowym paliwem będzie dostarczany przez firmy gazownicze gaz ziemny.

Podsumowanie

Ogniwa paliwowe stanowią nowy, interesujący rodzaj urządzeń umożliwiających wysokoefektywne wykorzystanie energii wewnętrznej paliwa gazowego. Głównym źródłem wodoru dla ogniw paliwowych jest obecnie – i pozostanie nim w najbliższej przyszłości – gaz ziemny. Wymagania wobec ogniw paliwowych są dosyć ostre: długi czas eksploatacji, wysoka sprawność, niezawodność, etc., co stanowi dość duże utrudnienie w ich upowszechnieniu. Komercjalizacja ogniw paliwowych przeznaczonych do użytku domowego przedłuża się, ale w ciągu najbliższych 2–5 lat obecna sytuacja powinna ulec zdecydowanej poprawie.

Artykuł nadesłano do Redakcji 22.12.2009 r. Przyjęto do druku 19.04.2010 r.

Recenzent: doc. dr inż. Andrzej Froński

Literatura

[1] Demusiak G., Dzirba D., Warowny W.: *Rola gazu ziemnego w technologiach ogniw paliwowych*. Przemysł Chemiczny, 11, s. 808, 2005.
[2] Eye for Fuel Cells www.eyeforfuelcells.com
[3] Fuel Cell 2000 www.fuelcells.org
[4] *Fuel Cell Technology Handbook*, Ed. Gregor Hoogers, CRC Press, Boca Raton, 2002.
[5] Fuel Cell Today www.fuelcelltoday.com
[6] *Handbook of Fuel Cells: Fundamentals, Technology and Applications*, Ed. John Wiley & Sons, Chichester, Wlk. Brytania, 2003.
[7] The Hydrogen Fuel Cell Letter, www.hfcletter.com

Mgr inż. Grzegorz DEMUSIAK – absolwent Instytutu Inżynierii Chemicznej Politechniki Warszawskiej. Pracuje w Instytucie Nafty i Gazu, Oddział w Warszawie na stanowisku kierownika Zakładu Oczyszczania i Uzdatniania Paliw Gazowych. Specjalność – oczyszczanie i uzdatnianie paliw gazowych oraz procesy i technologie stosowane w przemyśle gazowniczym.