

Niekonwencjonalne źródła energii

Autor: Monika Guzenda, pracownik Departamentu Przedsiębiorstw Energetycznych URE

(Biuletyn URE – nr 2/2004)

W rzeczywistości, w jakiej się obecnie znajdujemy zauważyć można duże uzależnienie różnych gałęzi gospodarki od energii. Wydaje się być niemożliwym funkcjonowanie bez korzystania z najnowszych oferowanych na rynku technik, z których niemal wszystkie działają dzięki dostarczanej im energii. Niestety zasoby źródeł konwencjonalnych nieustannie maleją, a obecna technologia ich pozyskiwania i przetwarzania wpływa w bardzo negatywny sposób na stan środowiska naturalnego.

W związku z powyższym rozsądnym wydaje się dążenie do zastąpienia ich źródłami efektywnymi ekologicznie, których wykorzystanie poprawi stan środowiska naturalnego, zredukuje ilość odpadów oraz pozwoli zaoszczędzić zasoby surowców naturalnych.

Rozwiązaniem problemu może być wykorzystanie alternatywnych źródeł energii, do których zaliczamy źródła korzystające z innych zasobów niż organiczne paliwa kopalne, takie jak paliwa nuklearne, wodór, zasoby odnawialne i odpady nie ulegające biodegradacji.

W odróżnieniu od źródeł konwencjonalnych, do których zaliczamy źródła przetwarzające organiczne paliwa kopalne, takie jak węgiel kamienny, węgiel brunatny, ropa naftowa i gaz ziemny, wykorzystanie alternatywnych źródeł energii pozwoli między innymi na zmniejszenie strat przesyłu energii elektrycznej oraz na zwiększenie sprawności urządzeń generujących energię elektryczną i ciepłą.

Pod uwagę należy wziąć rozwój takich źródeł niekonwencjonalnych jak:

- wodór,
- MHD - energia magneto-hydro-dynamiczna¹⁾,
- ogniwa paliwowe,
- energia wnętrza Ziemi (geotermiczna), w której energię nieodnawialną stanowią gejzery²⁾,
- energia jądrowa.

Wszystkie wymienione powyżej źródła energii mają tą podstawową zaletę, że w niewielki sposób wpływają na środowisko naturalne człowieka oraz przyczyniają się do czystego i niezawodnego wytwarzania energii, któremu towarzyszy znikoma emisja zanieczyszczeń i gazów cieplarnianych. Niestety w ich wykorzystaniu napotykać można na różnego rodzaju ograniczenia technologiczne (ze względu na postać występowania i możliwości praktycznego wykorzystania) oraz ekonomiczne (związane z dużymi kosztami ich stosowania). Niemniej jednak można stwierdzić, że przyszłość energetyki należy właśnie do nich.

Ogniwa paliwowe

Układy ogniw paliwowych są powszechnie uznawane za najbardziej obiecującą koncepcję alternatywnego napędu przyszłości, przede wszystkim ze względu na jego ekologiczny

charakter. Wielu naukowców i przedsiębiorstw pracuje nad rozwiązaniami dla użytkowników końcowych konstruując systemy mające zastosowania domowe, przemysłowe i motoryzacyjne.

Ogniwa paliwowe są urządzeniami elektrochemicznymi przekształcającymi energię chemiczną paliwa bezpośrednio w energię elektryczną i ciepło (można by zakwalifikować je do klasycznych baterii). Podstawowymi elementami składowymi są: zbiornik na paliwo, anoda, membrana z katalizatorem i katoda. Produkują energię elektryczną wykorzystując paliwo dostarczane w sposób ciągły do jednego z półogniw (anody - elektrody ujemnej), natomiast tlen lub powietrze (jako utleniacz) jest doprowadzany do drugiego z półogniw (katody - elektrody dodatniej), w sposób zabezpieczający przed bezpośrednim kontaktem obu substratów gazowych. Paliwem może być bezpośrednio wodór lub też związek zawierający duże ilości tego pierwiastka - gaz ziemny, metanol³). Amerykańscy inżynierowie chcą wykorzystać jako paliwo martwy plankton opadający na dna mórz i oceanów, gromadzący się jako organiczna materia o dużej zawartości węgla⁴).

Ogniwa paliwowe pracują bez przerwy, jeśli tylko wodór i tlen są doprowadzane do elektrod, a wykonywane są zwykle w postaci modułów o mocy od 5 W do 50 kW, czyli o bardzo szerokim zakresie zmienności mocy elektrycznej.

Ze względu na rodzaj używanego elektrolitu determinującego temperaturę działania układu oraz na rodzaj paliwa, które może być wykorzystane, rozwijane są różne typy ogniw paliwowych:

- AFC - Alkaliczne ogniwa paliwowe (*Alkaline Fuel Cells*),
- PAFC - Ogniwa paliwowe z kwasem fosforowym (*Phosphoric Acid Fuel Cells*),
- SOFC - Ogniwa paliwowe ze stałym tlenkiem (*Solid Oxide Fuel Cells*),
- MCFC - Ogniwa paliwowe ze stopionym węglem (*Molten Carbonate Fuel Cells*),
- PEMFC - Ogniwa paliwowe z membraną wymienną (*Proton Exchange Membrane Fuel Cells*),
- DMFC - Metanolowe ogniwa paliwowe z bezpośrednim zasilaniem (*Direct Methanol Fuel Cells*),
- RFC - Regeneratywne ogniwa paliwowe (*Regenerative Fuel Cells*).

Podstawowymi zaletami ogniw paliwowych jest ich duża sprawność wytwarzania energii elektrycznej oraz nieuciążliwość dla środowiska - ok. 2 ppm NO₂ i ok. 6 ppm CO. Emisja NO_x, SO₂ i CO jest wyjątkowo mała w porównaniu z technologiami opartymi na spalaniu paliwa konwencjonalnego, w związku z czym, w porównaniu z obecnym poziomem emisji z sektora energetyki zawodowej, zastąpienie tradycyjnych metod wytwarzania energii elektrycznej przez ogniwa paliwowe powinno zmniejszyć emisję:

- dwutlenku węgla o 40-60%,
- tlenków azotu o 50-90%.

Kolejną ich zaletą jest możliwość dowolnej lokalizacji elektrowni z ogniwami paliwowymi, które mogą produkować energię w miejscu jej bezpośredniego odbioru, co praktycznie eliminuje straty związane z przesyłem energii elektrycznej i ciepła. Nie wymagają one dużego terenu, co pozwala umieszczać je w środku wielkich miast, zmniejszając nakłady na sieci przesyłowe i rozdzielcze.

Dużym atutem, głównie pod względem ekonomicznym, jest ich budowa oparta na systemie modułowym, przez co mogą powstawać szybko i łatwo można je rozbudować.

Zaletą ogniwa paliwowego jest również to, że może być wykonane w postaci układu skojarzonego, produkującego ciepło i energię elektryczną dla odbiorcy w bezpośrednim sąsiedztwie siłowni, wykorzystując odpadową energię cieplną do ogrzewania pomieszczeń i wody użytkowej oraz do chłodzenia absorpcyjnego⁵⁾. Sprawność generatorów nie zależy od mocy nominalnej urządzenia i stopnia jej wykorzystania, a sterowanie pracą ogniwa może być łatwo zautomatyzowane. Istnieje również możliwość szerokiego wprowadzenia elektroenergetyki rozproszonej lub zdecentralizowanej w postaci w pełni zautomatyzowanych agregatów, połączonych w sieć czy pracujących niezależnie, wykorzystujących lokalne źródła gazu ziemnego, gazu odpadowego czy biogazu.

Bardzo istotnym elementem przemawiającym za wykorzystaniem w energetyce na szerszą skalę ogniwa paliwowych jest dbałość o środowisko⁶⁾, gdyż energia produkowana jest bez konieczności tworzenia zwałowisk żużli i popiołu oraz bez emisji dymów i spalin.

Ogniwa mogą być wykorzystane między innymi w gospodarstwach domowych, biurach, przemyśle oraz transporcie samochodowym, a jedyną wadą energetycznych rozwiązań z zastosowaniem ogniwa paliwowych jest obecnie fakt, że otrzymuje się energię elektryczną w formie prądu stałego, która najczęściej musi być przetworzona na energię prądu zmiennego⁷⁾. Bariery rozwoju ogniwa paliwowych były wysokie koszty materiałów, które w chwili obecnej, ze względu na postęp w projektowaniu i technologii produkcji podzespołów zostały bardzo zredukowane.

Konstruowanie ogniwa paliwowych stało się jednym z priorytetów Unii Europejskiej. W Brukseli została już podpisana umowa o współpracy Unii Europejskiej i Stanów Zjednoczonych w opracowaniu tanich ogniwa paliwowych do szerokiego użytku. Bruksela zdecydowała o wydaniu na ten cel przez najbliższe 4 lata kwoty 2,1 mld EUR (w ostatnich 4 latach było to jedynie 120 mln EUR).

Polska nie odbiega pod względem rozwoju tej dziedziny od innych krajów. Na Politechnice Warszawskiej opracowano wodorowy system zasilania awaryjnego PULSTAR oparty o ogniwa paliwowe typu PEM, który jest już produkowany i sprzedawany przez firmę APS Energia Sp. z o.o.⁸⁾

Wodór

Wodór jest najczystszy nośnikiem energii wśród paliw. Należy on do pierwiastków bardzo rozpowszechnionych w przyrodzie, a jego zapasy są praktycznie niewyczerpalne. Stanowi on jedno z najbardziej promowanych paliw alternatywnych przyszłości. Istotnym argumentem dla wykorzystania wodoru jako paliwa jest to, że przemysł chemiczny i metalurgiczny⁹⁾ może łatwo przestawić swe technologie na wykorzystanie go jako nośnika energii (zamiast gazu ziemnego). Może on również służyć do napędu wszelkiego rodzaju środków transportu takich jak samochody, koleje, okręty, statki kosmiczne.

W chwili obecnej produkcja paliwa wykorzystującego wodór nie należy do najtańszych, przez co nie jest jeszcze opłacalna. Przy jego uzyskiwaniu metodą klasycznej elektrolizy (będącą najstarszą metodą produkcji wodoru) zużywa się więcej energii niż można by jej później uzyskać z wodoru. Do pozyskania 1 m³ wodoru potrzeba 3 kWh prądu. Należy jednak zaznaczyć, że 100 mln m³ „wodorowego” paliwa odpowiada 25 tys. ton ropy naftowej.

Istnieją jednak inne metody produkcji wodoru do których należą¹⁰⁾: reforming, fermentacja biomasy, fotokonwersja, oraz chemiczna wymiana.

Podstawową zaletą wodoru jest to, że produktem jego spalania jest czysta woda, co przy zastosowaniu go jako paliwa nie wpływa ujemnie na środowisko naturalne. Ma on również małą energię inicjacji zapłonu, przez co jego spalanie jest o 60% sprawniejsze od innych paliw. Większa wartość opałowa i większa lotność wodoru w porównaniu np. z gazem ziemnym pozwala na zwiększenie przepustowości rurociągów wskutek możliwości stosowania większej prędkości wodoru niż gazu ziemnego, co w efekcie umożliwia przesył znacznie większej ilości ciepła w jednostce czasu. Większa lotność powoduje jednak nieco większe straty wodoru w zbiornikach i rurociągach.

Zastosowanie wodoru wiąże się jednak z wieloma trudnościami technicznymi, jak np. silne oddziaływanie chemiczne na metale a także z problemami z przechowywaniem wytworzonego produktu.

Patrząc z perspektywy czasu, wodór wykorzystywany jest najczęściej w ogniach paliwowych, w których stosuje się go jako paliwo.

W porównaniu z energią elektryczną, która w celu zmagazynowania musi być przekształcona w inną postać energii, wodór można łatwo magazynować w postaci gazowej, ciekłej lub stałej. W związku z tym może się on stać najwygodniejszym sposobem magazynowania energii. Do wytworzenia tego gazu z rozkładu wody będą zużyte nadwyżki energii, a uzyskiwane wielkie ilości wodoru będą użyte jako czynnik chłodzący kable i urządzenia elektroenergetyczne, wykonane z wysokotemperaturowych nadprzewodników, dzięki czemu zmniejszą się straty przesyłu i rozdziału energii elektrycznej.

Jako czynnik chłodzący, wodór góruje nad powietrzem pod względem pojemności cieplnej i znacznie niższej lepkości¹¹⁾. Generatory chłodzone tym czynnikiem mają również mniejsze straty wentylacji¹²⁾, dzięki czemu ich sprawność jest wyższa.

Wodór charakteryzuje się również szczególnymi właściwościami jako paliwo silnikowe, a zasilanie nim silnika powoduje tylko niewielką emisję związków toksycznych do atmosfery, co obrazuje poniższa tabela.

Wodór zastosowany w ogniach paliwowych	Emisja spalin w	
	NO _x	CO
gazu ziemnego	0,48	0,17
benzyny	0,32	0,32
metanolu	0,64	0,32

Jak wynika z powyższego, zastosowanie wodoru jako paliwa nie spowoduje naruszenia równowagi przyrody, gdyż jego wykorzystanie odbywa się w obiegu zamkniętym, a ze względu na brak w paliwie węgla, w spalinach zasilanego nim silnika praktycznie nie występuje dwutlenek węgla.

Amerykańskie Stowarzyszenie na Rzecz Postępu Nauki (AAAS) ogłosiło, że czysty wodór jako paliwo do samochodów czy energią dla przemysłu, produkować będą

mikroskopijne algi, które natura wyposażyła w specjalny mechanizm hydrogenezy, umożliwiające „rozkładanie” wody na wodór i tlen. Pozwala to produkować małej aldze czysty gaz - wodór.¹³⁾ Rośliny normalnie wydzielają tlen jako produkt odpadowy, ale kiedy włączą enzym - wydzielają wodór.

W chwili obecnej prace nad wytwarzaniem prądu i ciepła przy udziale wodoru prowadzi wiele koncernów samochodowych mając duże osiągnięcia w tej dziedzinie. Obecnie każdy koncern ma co najmniej jeden model posiadający silnik napędzany alternatywnie, ale przodującymi pod względem nowości technicznych są koncerny japońskie. Koncern Toyota skonstruował model FCHV 4 (*Fuel Cell Hybrid Vehicle*) napędzany wodorem zgromadzonym w specjalnych kuloodpornych i ogniotrwałych butlach, ładowanych pod ciśnieniem 250 atmosfer¹⁴⁾. Zapasy paliwa pozwalają na pokonanie dystansu 250 km bez tankowania.

Duże osiągnięcia w wykorzystaniu alternatywnych źródeł energii mają takie przedsiębiorstwa energetyki cieplnej jak: Buderus, Yiessmann, czy Vaillant.

Firma DaimlerChrysler na światowym zjeździe Inżynierów w Hanowerze w czerwcu 2000 r. zaprezentowała nowy model samochodu elektrycznego Neocar (New Electric Car), w którym właściwym źródłem energii są tzw. stopy ogniów paliwowych¹⁵⁾, gdzie zachodzi kontrolowana reakcja wodoru ze zbiornika pojazdu z tlenem atmosferycznym. Oprócz czystej wody, usuwanej w postaci pary wodnej, powstaje przy tym energia elektryczna wykorzystywana do napędzania silnika i jego podzespołów.

Jedynym utrudnieniem wiążącym się z zastosowaniem wodoru do napędu silnika jest brak rozwiniętej sieci stacji paliw z dystrybutorami wodoru (niemniej jednak pierwsze dystrybutory już funkcjonują np. w Niemczech) oraz problem jego przechowywania w samochodach.

Energetyka jądrowa

Alternatywnym źródłem energii może być również niezbyt obecnie popularna energetyka jądrowa, której podstawową zaletą w porównaniu z energetyką konwencjonalną jest jej minimalny wpływ na środowisko, co w dzisiejszych czasach jest jednym z głównych argumentów przemawiających za stosowaniem innych niż konwencjonalne procesów wytwarzania energii.

Elektrownie jądrowe budzą wiele kontrowersji, gdyż z jednej strony nie emitują one do atmosfery szkodliwych zanieczyszczeń¹⁶⁾, ale z drugiej budzą obawę w przypadku awarii reaktora.

Jednymi z głównych problemów występujących przy wytwarzaniu energii elektrycznej z energii jądrowej są: utylizacja odpadów powstających podczas spalania paliwa oraz ich transport i składowanie. W większości przypadków wpływa to na decyzję o budowie elektrowni oraz eksploatacji już istniejących.

W przypadku budowy elektrowni jądrowych wadą są również wysokie koszty inwestycyjne - przynajmniej o połowę wyższe niż w przypadku budowy nowoczesnej elektrowni węglowej.

W porównaniu z obecnie stosowanymi konwencjonalnymi nośnikami energii, których wyczerpanie przewiduje się za 50-60 lat, to paliwo jądrowe – obecnie jest nim uran 235 - jest praktycznie niewyczerpalne¹⁷⁾, a zasoby mogącego go zastąpić uranu 238 są 140 razy większe niż używanego obecnie.

W świecie około 17% energii elektrycznej pozyskiwane jest obecnie z energii jądrowej, i choć nieliczne kraje europejskie postanawiają zrezygnować z tej formy pozyskania energii, to w innych muszą one być budowane jako „zło konieczne”.

Według raportu Międzynarodowej Agencji Energetyki Atomowej na świecie istnieje 428 elektrowni jądrowych o mocy zainstalowanej wynoszącej łącznie ok. 274 GW. Wbrew założeniom niektórych naukowców, że energetyka jądrowa będzie się prężnie rozwijać jako jedna z niewielu opcji mogącej w przyszłości sprostać zapotrzebowaniu na energię elektryczną nie niszcząc środowiska naturalnego, przewidywania Międzynarodowej Agencji Energetyki Atomowej wskazują, że jej udział, wyrażony jako ułamek globalnej produkcji energii, spadnie do ok. 13% w 2010 r. oraz do ok. 10% w 2020 r.

Podsumowując powyżej opisane alternatywne technologie wytwarzania energii należy stwierdzić, że dzięki ich zastosowaniu będzie można przede wszystkim uniknąć dalszego zanieczyszczania środowiska, ograniczyć wykorzystanie paliw kopalnych a także stworzyć możliwość wyboru postaci energii dla zmieniających się potrzeb użytkowników.

W najbliższych dwudziestu latach zużycie energii na świecie wzrośnie o 50% i osiągnie poziom $20 \cdot 10^{10}$ MWh, w związku z tym konieczne jest poszukiwanie innych niż konwencjonalne źródeł energii, przy wyborze których oprócz argumentów ekonomicznych istotne są również względy ekologiczne charakteryzujące się możliwie najmniejszą uciążliwością dla środowiska.

Omawiane powyżej niekonwencjonalne źródła energii znajdują się w stanie rozwoju, co pozwala także oczekiwać zwiększenia sprawności wytwarzania energii elektrycznej. Poważną barierę stanowią natomiast koszty związane ze stosowaniem nowych technologii, które są często 10 razy wyższe od dzisiejszych, a uzyskiwane obecnie moce są małe, bądź nawet bardzo małe, co na razie nie pozwala na odegranie przez nie poważniejszej roli w pokryciu zapotrzebowania na energię elektryczną.

W związku z powyższym można stwierdzić, że węgiel, ropa, gaz ziemny będą nadal zajmowały wiodącą pozycję w ogólnoswiatowym bilansie energetycznym do roku 2050.

- 1) MHD to metoda bezpośredniego przetwarzania energii cieplnej w energię elektryczną. Sprawność elektrowni z generatorem MHD wynosi 50-60%, a więc o 15-25% więcej niż sprawność elektrowni konwencjonalnej. Paliwem jest gaz ziemny, w przyszłości będzie nim węgiel. Elektrownie z generatorami MHD potrzebują 1,5 raza mniej wody niż elektrownie konwencjonalne i 2,5 razy mniej zanieczyszczają środowisko.
- 2) Gejzery są wykorzystywane do napędu turbin parowych bezpośrednio lub pośrednio.
- 3) Firma Hitachi poinformowała o stworzeniu prototypu ogniwa paliwowego wykorzystującego metanol, który razem z powietrzem jest dostarczany bezpośrednio do elektrody. Stężenie metanolu w paliwie wynosi obecnie 20%, ale do czasu masowej produkcji ma zostać podniesione do 30%, przez co zwiększy się jego wydajność.
- 4) Stworzyli oni ogniwo wodorowe Oscar (*Ocean Sediment Carbon Aerobic Reactor*), wykorzystujące materię organiczną z osadów dennych jako paliwo. Przebieg procesu wytwarzania energii umożliwia rozproszony w wodzie tlen. Przepływ elektronów, odbywający się tak samo, jak w ogniwach zwykłych, przyspieszają mikroorganizmy żyjące w osadach i w morskiej wodzie.

- 5) Małe systemy gospodarki skojarzonej z ogniwami paliwowymi posiadają moc elektryczną 1-10 kW oraz moc cieplną 5-15 kW.
- 6) W przypadku zastosowania wodoru jako paliwa, produktem ubocznym jest jedynie woda i ciepło, natomiast przy wykorzystaniu innych paliw emisja dodatkowych spalin pozostaje na poziomie nieosiągalnym w porównaniu z urządzeniami konwencjonalnymi.
- 7) W szeregu zastosowań w transporcie prąd stały może jednak być zaletą ogniw paliwowych.
- 8) System przeznaczony jest dla energetyki i telekomunikacji. PULSTAR zdobył Medal Prezesa SEP na Międzynarodowych Targach „Napędy i Sterowanie/Elektroinstalacje 2003” w Gdańsku.
- 9) W przetwarzaniu rudy żelaza wodorem można zastąpić węgiel i tlen. Stosując wodór do redukcji rud żelaza, otrzymuje się wodę w postaci silnie przegrzanej pary, którą można wykorzystać dla celów technologicznych.
- 10) W przemyśle światowym, wodór od wielu lat wytwarzany jest głównie z niskowartościowych półproduktów przerobu ropy naftowej, węgla oraz z gazu ziemnego. W ostatnich latach wodór uzyskuje się przez zgazowywanie powietrzem oraz czystym tlenem odpadów komunalnych, szlamów z oczyszczalni ścieków, zużytych opon.
- 11) Ze względu na to, że jest on bardziej wydajnym czynnikiem chłodzącym niż powietrze stosuje się go przy chłodzeniu wirników dużych generatorów elektrowni o mocach powyżej 100 MW.
- 12) Jest to osiągalne jedynie przy stosowaniu wodoru o wysokiej czystości, w przeciwnym razie następują straty wentylacji i w konsekwencji obniżenie wytwarzanej mocy.
- 13) Naukowcy szacują, że mały staw pełen alg jest w stanie wyprodukować tyle wodoru, aby zapewnić paliwo 12 samochodom na tydzień. Litr alg hodowanych na pożywcę produkuje blisko 3 mm wodoru w ciągu godziny.
- 14) Toyota także opracowała alternatywny sposób magazynowania wodoru. Jest to ważyca 100 kg „sztaba” metalu, która jest w stanie wchłonąć 2 kg wodoru, co jest równoważne 20 000 litrów gazu. Delikatnie podgrzany stop zaczyna powoli uwalniać wodór.
- 15) Obecnie dwa „stosy paliwowe” NECKARA 4 składają się ze 160 pojedynczych ogniw, „upakowanych” jedno na drugim tak gęsto, że mieszczą się w skrzyni wielkości walizki. Każdy z zespołów ogniw NECKARA 4 ma moc 35 kW, co w sumie daje 70 kW. Zespoły tych ogniw dają prąd o natężeniu 340 A. Współczynnik sprawności wynosi średnio 50-80%, co oznacza, że aż do 80% energii chemicznej wodoru może zostać przekształcone na energię elektryczną.
- 16) Emitowane do atmosfery niewielkie dawki radioaktywne, które w przypadku elektrowni jądrowej o mocy 1 000 MW(e) rocznie wynoszą maksymalnie $5,9 \cdot 10^{14}$ Bq gazów szklarniowych (85 Kr i 133 Xe) i $5,6 \cdot 10^9$ jodu, wystarczą rozcieńczyć do wartości dopuszczalnych zużywając $5,5 \cdot 10^{10}$ m³ powietrza. Dla porównania - aby rozcieńczyć ilość dwutlenku siarki emitowanego przez rok przez elektrownie węglowe o takiej samej mocy, potrzeba aż 100 000 razy więcej powietrza, bo $4,3 \cdot 10^{15}$ m³.
- 17) Paliwem jądrowym stanie się także tor 232, którego jest 3,5 raza więcej niż używanego obecnie uranu.