

# EKOPALIWA OGNIW PALIWOWYCH

## ECOFUELS FOR FUEL CELLS

**Lech J. SITNIK**

Dr hab. inż. prof. n. PWR,  
Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn, Wydział Mechaniczny, Politechnika Wrocławska,  
Tel. (fax) +71 347 79 18  
e-mail [Lech.sitnik@pwr.wroc.pl](mailto:Lech.sitnik@pwr.wroc.pl)

### Summary

In work are unconventional proposals of alcohol's and gasoline production as fuel for fuel cells presented. They are the technologies of production this fuels from renewable resources. It pay attention to fact that the half meet of land needs for liquid fuels can be make on ecofuels they are coming from biomass from cultivate area of today's uncultivated land and from waste. The strategies of production of ecofuels from renewable resources have a lot of ecological, economical and public advantages.

### 1. Wprowadzenie

Po ponad stuletnim rozwoju pojazdów napędzanych silnikami spalinowymi powróciliśmy do koncepcji pojazdów elektrycznych, ale z pokładowym źródłem energii w postaci ogniwa paliwowego. Powrót ten wynika z konieczności zarówno obniżenia eksploatacyjnego zużycia paliwa jak i wyeliminowania emisji toksycznych składników spalin.

Sytuacja, w której się znaleźliśmy rodzi dwa pytania:

- czy nowe źródło napędu ma przyszłość?
- jakie powinno być paliwo przyszłości?

Odpowiedź na pierwsze pytanie jest stosunkowo prosta – ogniwo paliwowe.

Mimo dyskusji i szeregu doń zastrzeżeń – przy jednoczesnym podnoszeniu zalet klasycznego silnika spalinowego – już dziś ogniwo paliwowe charakteryzuje się jednym z najwyższych, wskaźników uzysku mocy z jednostkowej objętości źródła. Wszystko bez emisji toksycznych składników spalin i przy bardzo wysokiej sprawności wykorzystania energii paliwa. Biorąc przy tym pod uwagę, że współczesne ogniwa paliwowe dopiero wchodzą w fazę rozwoju, to jedyne nad czym można się dziś rzeczywiście zastanawiać to nie czy, ale kiedy zastąpią one silniki spalinowe.

Na pytanie jakie powinno być paliwo przyszłości, odpowiedź brzmi – wodór.

Tu jednak rzecz jest bardziej skomplikowana, bowiem jak dotychczas wdrożenie wodoru – w skali światowej – nie powiodło się. Przyczyną są względy ekonomiczne, ale nie tylko. Istniała bariera logistyczna. Zakładano bowiem, że wodór transportowany będzie w stanie swobodnym (cząsteczkowym) jako ciecz (w niskiej temperaturze), lub gaz (komprymowany w zasobnikach lub adsorbowany do, wypełniających zasobnik, określonych metali). Bariere tę usunięto dopiero wówczas gdy zdano sobie sprawę z faktu, że wodór może być transportowany w ciekłych związkach chemicznych tj. metanolu lub benzynie, a jego uwalnianie z nich nastąpić może, w tzw. reformerze, bezpośrednio na pokładzie pojazdu. Rzeczywisty przełom we wdrażaniu wodoru jako paliwa osiągnięty został zatem dopiero wówczas, kiedy węgiel w całym procesie logistyki stał się „jedyne” nośnikiem wodoru i do uzyskania energii nie musi być spalany.

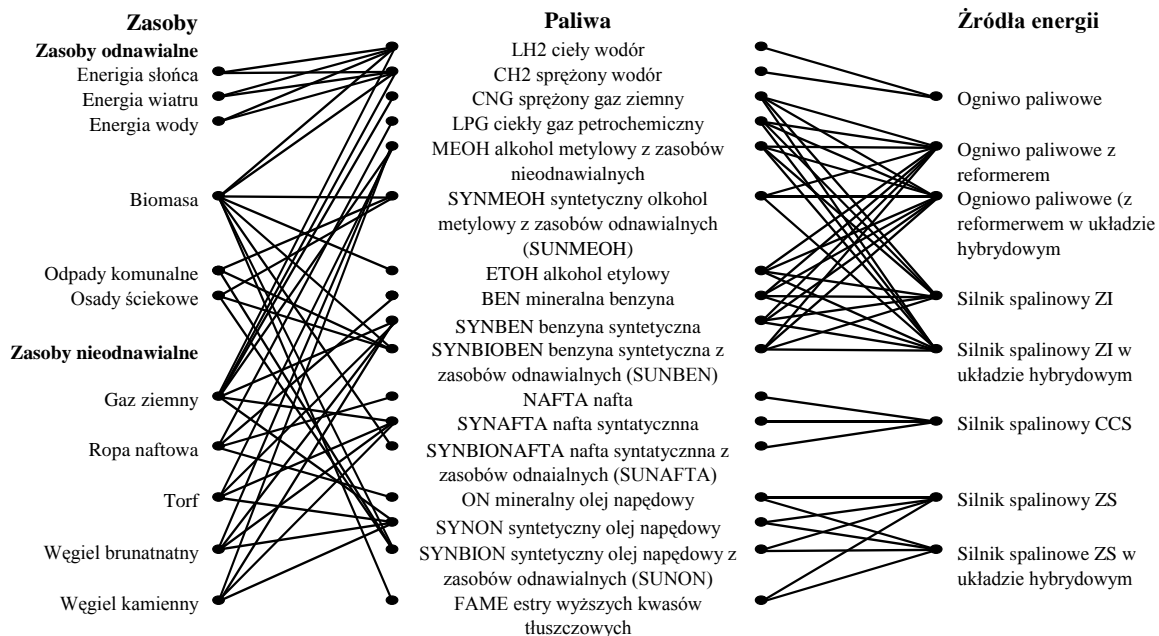
Z powyższego wynika, że z pierwotnego założenia, iż wodorem mają być zasilane konwencjonalne źródła energii (silniki wewnętrznego spalania), do których trzeba opracować niekonwencjonalną logistykę paliwa (wodoru), przeszliśmy do założenia innego, odwrotnego, iż do niekonwencjonalnych źródeł energii (ogniwo paliwowych) zastosować można konwencjonalne paliwa (metanol i benzynę) oraz ich konwencjonalną logistykę.

Zasoby wodoru są wręcz nieograniczone i odnawialne. Jedynym problemem to jak je eksploatować w sposób proekologiczny i uzasadniony ekonomicznie.

Sposób proekologiczny to zapewnienie by zarówno paliwo jak i jego nośnik krążyły w przyrodzie. Całość stanie się natomiast uzasadniona ekonomicznie jeśli proces krążenia napędzany będzie „darmową” energią, a jak na razie, jeśli wziąć pod uwagę skalę zagadnienia, może być to tylko energia słoneczna. Wszystkie te czynniki „zbiegają się” w biomasie. Z tej jak wiadomo najłatwiej uzyskać wodór oraz alkohole, a z nich (jeśli wystąpi taka potrzeba) parafiny np. benzynę. Technologie te są opanowane w skali wielkoprzemysłowej.

Odejście od silników spalinowych do ogniwo paliwowych nie oznacza zatem konieczności odejścia od sposobu wytwarzania, magazynowania oraz dystrybucji paliwa. Zmieniają się tylko wykorzystywane zasoby oraz rodzaj paliwa. Z dzisiejszych mineralnych benzyn z dodatkami alkoholi i eterów oraz mineralnych olejów napędowych (z dodatkami alkoholi i/lub estrów), czy też estrów (z dodatkami alkoholi) przejdziemy niewątpliwie na paliwa lekkie, dające się łatwo reformować do wodoru, a więc paliwami będą wodór i najprostsze alkohole, zwłaszcza metylowy oraz benzyny o najprostszej budowie.

To swoiste przejście charakteryzować się będzie najpierw wzrostem różnorodności paliw, która zanikać będzie dopiero po pewnym czasie. Oznacza to, że występował będzie okres przejściowy, w którym istniała będzie „sieć neuronowa paliw”



Rys. 1. „Sieć neuronowa paliw” Współczesne paliwa ich zasoby oraz źródła wykorzystania.

Fig. 1. „Fuel neuronal net”. Contemporary fuels they resources and utilisation sources.

Przełom dzisiejszego czasu polega na tym, że wprowadzane są zarówno nowe paliwa jak i nowe źródła napędu, przy jednoczesnym rozwoju źródeł klasycznych. To „przejście” wymagać będzie czasu niezbędnego zarówno na zmianę infrastruktury jak i (a może przede wszystkim) na zmianę sposobu myślenia i postrzegania całej problematyki uzyskiwania i wykorzystywania energii. Czas do wycofania silników spalinowych to jednocześnie czas istnienia współczesnych paliw ale pozyskiwanych z innych zasobów. Takimi paliwami są węglo-

wodorowe ekopaliwa silnikowe. Paliwa te służyć mogą (i powinny) do zasilania ogniw paliwowych.

## 2. Ekopaliwa ogniw paliwowych

Zużycia paliw ciekłych w Polsce stabilizuje się na poziomie ok. 16 mln. Mg rocznie. Prawie 98% tych paliw pochodzi z importowanej ropy naftowej. Ostatnio odkryto co prawda nowe, krajowe jej złoża, ale ich pojemność szacuje się jedynie na ok. 17 mln. Mg tzn. można nimi pokryć roczne zapotrzebowanie kraju. Nie jest to mało ale też niczego nie rozwiązuje. Jeśli nie chcemy być jedynie importerem surowców do produkcji paliw lub samych paliw, to trzeba zastanowić się nad ich pozyskiwaniem z innych zasobów.

Z dostępnych prognoz wynika, że wzrost zapotrzebowania energetycznego kraju ma być pokryty jednak przez zwiększone wykorzystanie ropy naftowej i gazu ziemnego, zatem zasobów nieodnawialnych. Surowce z nich pochodzące prawie w całości muszą być do kraju importowane. Wykorzystanie energii z zasobów odnawialnych jest niestety postrzegane jako mało rozwojowe. Zakłada się tu raczej konieczność spełnienia wymogów Unii Europejskiej niż chęć wykorzystania choćby tylko tych zasobów krajowych, które są łatwo dostępne tzn. biomasy i odpadów.

Potencjał biomasy ocenia się bardzo różnie. Najprostszy szacunek, który można tu przeprowadzić, opiera się na założeniu, że do produkcji paliw wykorzystać należy przede wszystkim dzisiejsze odłogi, a tych, jak powszechnie wiadomo, jest w kraju ok. 2 000 000 ha.

Jeśli założyć, że na 400 000 ha tych odłogów uprawiany będzie rzepak, a pozostałe 1 600 000 ha przeznaczone zostanie pod uprawę roślin energetycznych (np. róży energetycznej, wierzby, malwy itd.) to okazuje się, że z dzisiejszych odłogów można uzyskać ponad 1000 PJ energii rocznie. Jeśli dodać do tego energię zawartą w dorocznej nadwyżce słomy i siana (z gruntów uprawnych) ocenianej na 195 PJ to uzyskuje się bilans biomasy na poziomie 1200 PJ. Do tego można (i trzeba) dołożyć energię zawartą w odpadach komunalnych. Jest to wg zupełnie pobieżnego rachunku ok. 90 PJ, które mogą wzrosnąć do ok. 150 PJ po usunięciu z nich frakcji inertyjnej tzn. szkła, metali i ceramiki.

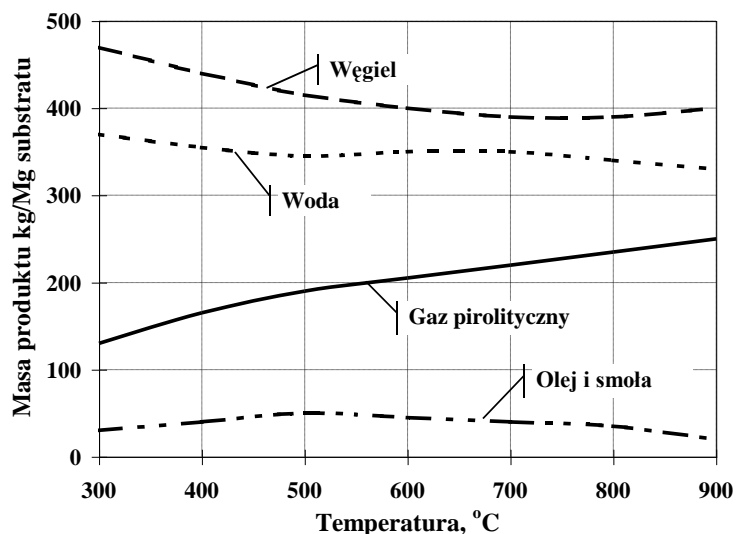
Zatem potencjał biomasy z dzisiejszych odłogów oraz odpadów komunalnych w Polsce oszacować można na ok. 1350 PJ (tj. ponad 1/3 rocznego dzisiejszego zapotrzebowania energetycznego kraju), a przecież rośliny do energetycznego wykorzystania uprawiać można nie tylko na odłogach, ale na użytkach i oczywiście na terenach zdegradowanych, nie wliczanych do odłogów.

Przy założeniu sprawności pozyskiwania paliw syntetycznych na poziomie 0,25 uzyskuje się  $1350 \text{ PJ} \times 0,25 = 337,5 \text{ PJ}$  energii zawartej w paliwach ciekłych tzn. 8 437 500 Mg ciekłych paliw rocznie – czyli ponad połowę rocznego importu ropy naftowej (którą w paliwa trzeba dopiero przekształcić). Tymczasem w kraju toczy się dyskusja o tym czy 5% dodatek biopaliw (nie ekopaliw) do paliw pochodzenia mineralnego to aby nie za dużo.

W dotychczasowych prognozach nie bierze się pod uwagę rzeczywiście przyszłościowych kierunków wykorzystania zasobów odnawialnych, a zwłaszcza pozyskiwania z nich syntetycznych paliw ciekłych. A to tu tkwią największe rezerwy i możliwości wykorzystania energii. Dzisiejsze traktowanie, że paliwami ciekłymi z biomasy są biopaliwa takie jak bioetanol czy kwasy tłuszczowe albo ich estry, jest niczym nie uzasadnionym zawężaniem problematyki wykorzystania zasobów odnawialnych. Biopaliwa traktować trzeba jedynie jako ewentualną niewielką domieszkę do uzyskiwanych z biomasy syntetycznych ekopaliw ciekłych.

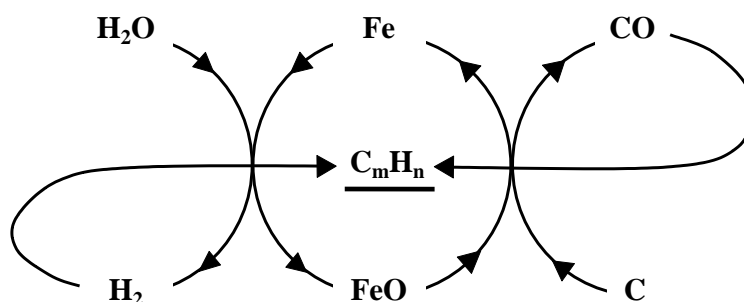
Technologie uzyskiwania syntetycznych paliw ciekłych z biomasy są znane.

Najprostszą z nich jest pirolityczny rozkład. W jego wyniku powstaje gaz pirolityczny, olej i smoła a także węgiel i woda. Do dziś wydawało się, że te dwa ostatnie produkty nie mogą być przekształcone w paliwa ciekłe. Tak jednak nie jest.



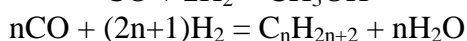
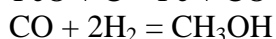
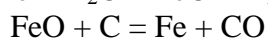
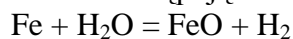
Rys. 2. Produkty pirolizy biomasy  
Fig. 2. Products of biomass pyrolysis

Węgiel i woda mogą być przekształcana do paliw ciekłych wg schematu.



Rys. 3. Schemat układu reakcji do pozyskiwania paliw płynnych z biomasy.  
Fig. 3. Diagram of reactions system for receiving the liquid fuels from biomass.

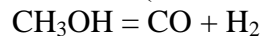
W pierwszym etapie woda wprowadzana jest na gorące żelazo (o temperaturze co najmniej 900°C [1]) powstaje tlenek żelaza oraz wodór. W drugim etapie wg Żakiewicza [2] następuje redukcja węglem tlenku żelaza do żelaza oraz wydziela się tlenek węgla. Tlenek węgla z wodorem stanowi gaz syntezowy i jako taki może być przekształcany do metanolu lub metodą Fischera-Tropscha [3] do węglowodorów nasyconych. Odpowiednie reakcje chemiczne opisanych procesów zapisać można następująco.



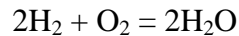
Paliwa syntetyczne, które jeśli pochodzą z zasobów odnawialnych są ekopaliwami [3], to wąska grupa wyspecyfikowanych „klasycznych” węglowodorów parafinowych. Mają one wszystkie zalety biopaliwa ale pozbawione jest jego wad.

Do zasilania ogniw paliwowych stosowany może być zarówno metanol jak też benzyna. W ogniwie paliwowym wyposażonym w zintegrowany reformer przebiegają bowiem procesy:

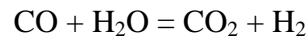
- analizy metanolu do tlenku węgla i wodoru (w reformerze):



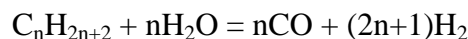
- syntezy wodoru i tlenu do wody (po przejściu jonów wodoru lub tlenu przez ogniwo paliwowe)



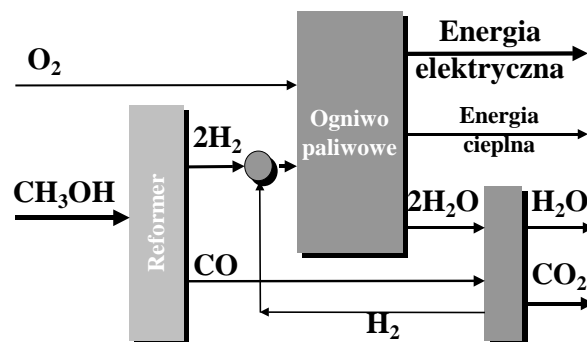
- reakcja tlenku węgla z wodą do dwutlenku węgla i wodoru (w urządzeniach peryferyjnych)



Jeśli układ z ogniwem paliwowym zasilany jest węglowodorami np. benzyną, to „odzysk” wodoru w reformerze następuje wg reakcji



Globalny schemat działania ogniwa paliwowego z reformerem, przedstawia poniższy rysunek.



Rys. 4. Działanie ogniwa paliwowego z reformerem.

Fig 4. Functioning of fuel cell with reformer.

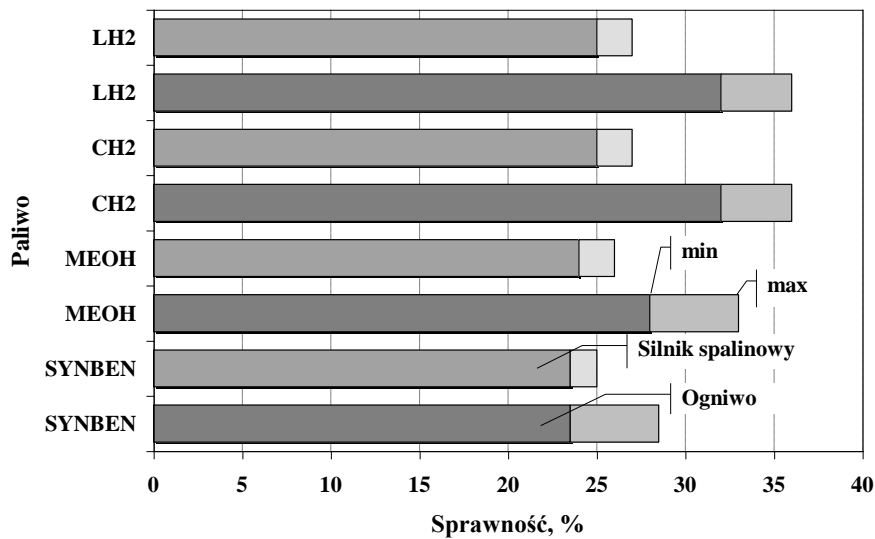
Jak widać węgiel w całym procesie jest jedynie „nośnikiem” wodoru. Skoro węgiel ma być jedynie nośnikiem wodoru to należy doprowadzić do tego by krążył on w przyrodzie. Stąd pozyskiwanie tego nośnika musi dobywać się z zasobów odnawialnych. Jest to jednocześnie, jak się dziś wydaje, najprostszy sposób na wykorzystanie energii słońca do pozyskiwania paliw ciekłych i to paliw, których logistyka nie wymaga przebudowy istniejącej infrastruktury.

Odejście od silników spalinowych do ogniw paliwowych nie oznacza zatem konieczności odejścia od sposobu wytwarzania, magazynowania oraz dystrybucji paliwa. Zmienia się tylko wykorzystywane zasoby oraz rodzaj paliw. Z dzisiejszych benzyn z dodatkami alkoholi i eterów oraz olejów napędowych (z dodatkami alkoholi i/lub estrów), czy też estrów (z dodatkami alkoholi) przejdziemy niewątpliwie na paliwa lekkie, dające się łatwo reformować do wodoru, czyli paliwami będą najprostsze alkohole, zwłaszcza metylowy oraz benzyny o najprostszej budowie.

Dane z poniższego rysunku 5 mówią same za siebie.

Najwyższe sprawności osiągane są przez napędy z ogniwem paliwowym przy zasilaniu go sprężonym lub ciekłym wodorem. Jednak są niewiele niższe gdy ogniwo zasilane jest metanolem. Sprawność napędu z ogniwem paliwowym zasilanym benzyną niewiele różni się od sprawności współczesnych silników spalinowych. Jest tu jednak pewno „ale”. Otóż sprawność napędu z ogniwem paliwowym osiąga maksimum przy niewielkich obciążeniach, podczas gdy sprawność silników jest maksymalna przy obciążeniach bliskich maksymalnym. Pojazdy eksploatowane są głównie przy obciążeniach nie przekraczających 50%, a tu spraw-

ność układu napędowego z ogniwo paliwowym znacznie przewyższa sprawność układu z silnikiem spalinowym.



Rys. 5. Sprawność różnych napędów przy różnych paliwach, wyznaczona w teście NEDC. Na podstawie [5]. Oznaczenia paliw to:

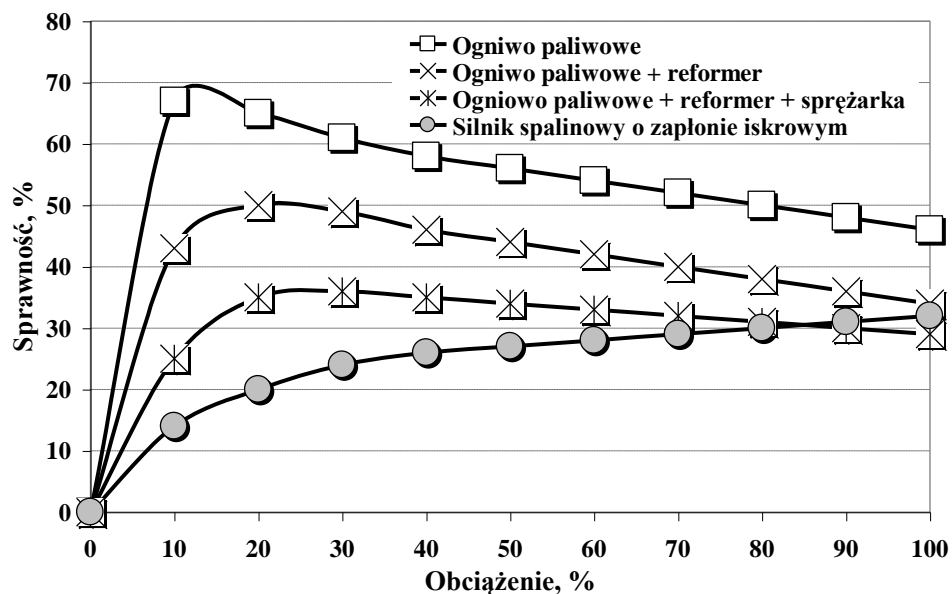
Fig.5... Efficient of different power transmissions by different fuels, specified in NEDC test. On the basis of [5]. Mark of fuels are:

MEOH – metanol, methanol,

CH2 – sprężony wodór, compressed hydrogen,

LH2 – ciekły wodór, liquid hydrogen,

SYN BEN – benzyna syntetyczna, synthetically gasoline.



Rys. 6. Porównanie sprawności ogniwa paliwowego oraz silnika spalinowego o zaplonie iskrowym. Na podstawie [5].

Fig. 6. Comparison of efficiency of Fuel cell and spark ignition internal combustion engine. On basis of [5].

Jeśli chodzi o sprawność działania to ogniwa paliwowe, znajdujące się na początku rozwoju, dalece przewyższają silniki spalinowe. Już dzisiejsza ok. 10-cio % różnica w sprawności, na korzyść ogniwa paliwowych nie da się niczym zastąpić.

Jak to wynika z rys. 6 o sprawności wykorzystania energii przy zastosowaniu ogniwa paliwowego jako źródła napędu pojazdu decydują dziś przede wszystkim urządzenia peryferyjne ogniwa, takie jak: reformer i sprężarka. I te powinny być dziś w pierwszym rzędzie doskonałe. Ale nawet dziś, przy niedoskonałości urządzeń peryferyjnych ogniwo paliwowe pozwala lepiej wykorzystać energię paliwa jak silnik spalinowy. Z rysunku 6 wynika, że ten niedoskonały dziś jeszcze rodzaj napędu przewyższa pod każdym względem napęd tradycyjny. Dopiero przy obciążeniu sięgającym 80% oba rodzaje napędu uzyskują tę samą sprawność (z tym, że ogniwo paliwowe bez emisji toksycznych składników spalin).

Stosowanie paliw ma swoją cenę, zwłaszcza jeśli ekopaliwa uzyskiwane są w instalacjach, w których nie jest możliwe optymalne wykorzystanie energii. Stąd względne, dzisiejsze koszty uzyskania ekopaliw są z reguły wyższe jak paliw z zasobów nieodnawialnych. Trzeba tu jednak jeszcze raz wyraźnie podkreślić, że wysokie koszty uzyskania wynikają z faktu, że ekopaliwa wytwarzane są dotychczas w instalacjach o niskim stopniu integracji. Pozyskiwanie tych paliw w instalacjach komplementarnych (jak np. w strategii PROEKO [3]) powoduje, że różnice w kosztach uzyskania praktycznie zanikają. Ponadto realne obniżenie kosztów uzyskania paliwa dają nowe technologie, jak np. wspomniana technologia uzyskiwania wodoru [2]. W konkretnym przypadku obniżenie kosztów uzyskiwania wodoru w stosunku do metod klasycznych to nie kilka lub kilkanaście ale kilkaset procent (obniżenie to jest wielokrotne).

O wdrożeniu paliwa nie decydują też jedynie koszty uzyskania. Stanowią one tylko część ceny zbytu paliwa. Na tę ostatnią składa się jeszcze podatek akcyzowy oraz podatek od towarów i usług. Zmiana opodatkowania bezpośredniego stwarza duże pole manewru dla ułatwień we wdrażaniu tych paliw.

### **3. Zakończenie**

Ekopaliwa, mają niekwestionowaną przyszłość. Pewność ich wprowadzenia wynika z kilku przesłanek:

- pochodzą z zasobów odnawialnych, co oznacza prostotę i skuteczność w wykorzystaniu energii słonecznej – a poprzez biomasę włączenie się w naturalny obieg w przyrodzie,
- zachowania nieodnawialnych zasobów energii,
- całkowitego pokrycia zapotrzebowania energetycznego ludzkości – potencjał techniczny biomasy czterokrotnie przewyższa to zapotrzebowanie,
- odciążenia środowiska naturalnego emisjami, tak w sferze globalnej (obniżenie emisji dwutlenku węgla – przez co zmniejszenie zagrożenia efektem cieplarnianym) jak i lokalnej (w eksploatacji ogniw paliwowych wyeliminowanie emisji tzw. niskich – wdychanych przez człowieka),
- likwidacji zagrożeń wynikających z gromadzenia odpadów i osadów ściekowych, poprzez ich przekształcenie w paliwa płynne,
- prostej i niezmięnionej, w stosunku do dzisiejszej, logistyce,
- uniwersalności w zastosowaniu zarówno w napędach dzisiejszych jak i w nowo wprowadzanych ogniwach paliwowych – efektywniejszego wykorzystania energii zawartej w paliwie,
- bezpieczeństwa politycznego – biomasa jest bardziej równomiernie rozłożona na Ziemi, zatem korzystanie z niej nie prowadzi do takich konfliktów politycznych jakie obserwuje się współcześnie,
- bezpieczeństwa socjalnego – stabilne miejsca pracy (w nowej dziedzinie gospodarki), przy większej ich liczbie i proliferacji.

Działania mające na celu wykorzystanie zasobów odnawialnych są zgodne z trendami światowymi oraz europejskimi. Założono tam, że już za kilka najbliższych lat, energia z zasobów odnawialnych stanowić będzie znaczący składnik bilansu energetycznego. Założenie to, w naturalny sposób zobowiązuje również nasz kraj do podejmowania działań na rzecz wyko-

rzystania odnawialnych zasobów energii, stwarzając jednocześnie szansę na skorzystanie z istotnej pomocy Unii Europejskiej w tej dziedzinie.

Rozwój odnawialnych zasobów energii i technologii ich wykorzystania, stwarza szansę na utrzymanie niezależności energetycznej – głównie paliwowej. Przyczynia się do rozwoju regionalnego, a także do proekologicznej modernizacji i dywersyfikacji krajowego sektora energetycznego i przemysłowego. Należy pamiętać, że im szybciej Polska zaangażuje się w rozwój wykorzystania odnawialnych zasobów energii, tym szybciej krajowy przemysł energetyki odnawialnej, a w szczególności małe i średnie przedsiębiorstwa staną się równorzędnym uczestnikiem światowego rynku, związanych z tym technologii. Opanowanie „high-tech” tych technologii pozwoli stworzyć nową gałąź przemysłu, daleko bardziej rozbudowaną w miejsca pracy, jak dzisiejszy przemysł wydobywczy i energetyczny, wraz z towarzyszącą im infrastrukturą, razem wzięte. Krajowy potencjał techniczny, odnawialnych zasobów energii, wręcz zobowiązuje do realizacji zadań mających na celu jego jak najlepsze wykorzystanie.

#### 4. Literatura

1. Trzebiatowski W.; „Chemia nieorganiczna”
2. Materiały firmy Sewen Rock Mining Ltd. 2004.
3. Sitnik L. J.; Ekopaliwa silnikowe. ISBN 83-7085-767-1. Oficyna Wydawnicza PWR, Wrocław 2004.
4. Steiger W., Warnecke W.; Potential of Interactions between Fuels and future Powertrains. VDI Berichte 1704. 2002.
5. Steiger W.; Die Antriebs- und Kraftstoffstrategie von Volkswagen. IGM Fachtagung Neue Fahrzeugkonzepte. Hannover 2001.

W pracy przedstawiono niekonwencjonalną koncepcję pozyskiwania alkoholi i benzyn do zasilania ogniw paliwowych. Przedstawiono technologie wytwarzania tych paliw z zasobów odnawialnych. Zwrócono uwagę na fakt, iż pokrycie krajowego zapotrzebowania na paliwa ciekłe może być w połowie pokryte przez ekopaliwa pochodzące z eksploatacji zasobów biomasy z uprawy dzisiejszych odłogów oraz z przekształcania odpadów. Zwrócono uwagę, że strategia pozyskiwania ekopaliw z zasobów odnawialnych ma szereg zalet ekologicznych, ekonomicznych i społecznych.