

56/2003

**Raport Badawczy**  
**Research Report**

**RB/38/2003**

**Ogniwa paliwowe i bioenergia  
szansą rozwoju wsi i miast**

**W. Ciechanowicz**

**Instytut Badań Systemowych**  
**Polska Akademia Nauk**

**Systems Research Institute**  
**Polish Academy of Sciences**



# **POLSKA AKADEMIA NAUK**

## **Instytut Badań Systemowych**

ul. Newelska 6

01-447 Warszawa

tel.: (+48) (22) 8373578

fax: (+48) (22) 8372772

Kierownik Pracowni zgłaszający pracę:  
Prof. dr hab. inż. Zbigniew Nahorski

Warszawa 2003

# Ogniwa Paliwowe i Bioenergia

## Szansą

## Rozwoju Wsi i Miast

Wiesław Ciechanowicz

Instytut Badań Systemowych, PAN

### Uwagi wstępne

Obecnie jesteśmy świadkami przełomu technologicznego w skali globalnej, polegającego na zastępowaniu konwencjonalnych źródeł energii ogniwami paliwowymi. Jest to konsekwencją dążenia światowego systemu motoryzacyjnego do uniezależniania się od arabskich pól naftowych. Jest to także konsekwencją dążenia cywilizacji do złagodzenia efektu cieplarnianego, jak również zmniejszenia chorobotwórczego wpływu spalin silnika wewnętrznego spalania na zdrowie ludzkie, szczególnie w aglomeracjach miejskich.

Przełom w rozwoju technologicznym źródeł energii, jakie czynią ogniwa paliwowe, dotyczy przechodzenia cywilizacji świata z ekonomii Paliw Kopalnych do Ekonomii Wodoru, ściśle mówiąc do Ekonomii Biometanolu. Ma to nastąpić w niektórych dziedzinach, jak gospodarka komunalna, już w latach 2004 – 2006, w produkcji samochodów na masową skalę przed 2010 rokiem, a więc za 7 lat.

W grudniu 1999 roku podano do wiadomości, że przekroczyły próg opanowania technologicznego dwa rodzaje ogniw paliwowych, które mogą prowadzić cywilizację do zrównoważonego jej rozwoju. Są to:

1. polimerowe ogniwo paliwowe bezpośrednio zasilane metanolem, jako przenośne lub stacjonarne źródło energii, mające zastosowanie:

poczynając od wszelkich podręcznych urządzeń elektronicznych, poprzez generatory energii elektrycznej i ciepła w gospodarstwach domowych i obiektach użyteczności publicznej, do środków transportu samochodowego, osobowego i ciężarowego, transportu szynowego i lotniczego,

2. ceramiczne ogniwo paliwowe, jako stacjonarne źródło energii, zasilane węglowodorowymi paliwami gazowymi jak metan, propan oraz tlenek węgla, które może stanowić tylko jako lokalne stacjonarne generatory energii elektrycznej i ciepła w gospodarstwach domowych i obiektach użyteczności publicznej.

Ponadto w określonych okolicznościach mogą znaleźć zastosowanie:

3. polimerowe ogniwa paliwowe bezpośrednio zasilane wodorem, jako przenośne lub stacjonarne źródło energii, szczególnie w krótkim horyzoncie czasu w testowanych samochodach napędzanych ogniwami paliwowymi, mogące obejmować takich końcowych użytkowników energii jak autobusy komunikacji miejskiej,
4. biologiczne ogniwa paliwowe dokonujące mikrobiologicznej konwersji glukozy do wodoru, a następnie poprzez dekompozycję atomu wodoru wytwarzające elektrony i protony. Są obecnie na etapie rozwoju. Mają mieć zastosowanie jako:
  - implantowany do żyły żywego organizmu system podawania leków bezpośrednio do chorego organu, używając glukozę obecną w krwiobiegu jako sposobu na dostarczanie wodoru, co ma mieć szczególne znaczenie dla chorych, wymagających regularnego dozowania leków w odpowiedniej dawce,
  - w utylizacji śmieci poprzez uprzednie upłynnienie ich do glukozy stanowiącej sposób na dostarczanie wodoru w lokalnych generatorach energii elektrycznej w gospodarstwach domowych.

Powstaje więc zapotrzebowanie na światowy produkt globalny, w sensie strategicznego paliwa i technologii źródeł energii, który mógłby przyczynić się do rozwoju gospodarki polskiej, tak jak uczynił to telefon przenośny Nokia dźwigając gospodarkę fińską do grona gospodarek świata, charakteryzujących się największym stopniem innowacyjności. Może to być nie tylko szansą jedyną na przełomie stuleci wyrównywania luki ekonomicznej pomiędzy wsią i miastem, ale także może być szansą możliwie wszechstronnego rozwoju kraju.

W konsekwencji może przyczynić się do rozwiązywania następujących strategicznych problemów gospodarki kraju, takich jak.

- rozwój obszarów wiejskich,
- zmniejszenia chorobotwórczego wpływu spalin silnika wewnętrznego spalania na zdrowie ludzkie, szczególnie w aglomeracjach miejskich,
- uczestnictwo na przyszłym globalnym rynku ogniw paliwowych,
- dążenie do samowystarczalności energetycznej kraju.

Rozwój obszarów wiejskich, związany z powstawaniem produktu globalnego, należy spostrzegać poprzez:

- *uprawę roślin energetycznych i przetwarzanie ich do metanolu, tworząc wiele miejsc pracy,*
- *produkcję metanu w wyniku beztlenowej fermentacji biologicznych ścieków i odpadów,*
- *możliwość bardziej efektywnego wykorzystywania źródeł geotermicznych, dostępnych na około 80 % kraju, dzięki kojarzeniu odpowiednich systemów energetycznych z ceramicznymi ogniwami paliwowymi.*

Zachowanie czystego powietrza w aglomeracjach miejskich, takich jak Śląsk, Kraków, byłoby konsekwencją wprowadzania do komunikacji miejskiej autobusów napędzanych ogniwami paliwowymi zasilanymi wodorem. Wodór można by uzyskiwać między innymi poprzez konwersję węgla, śmieci i

biomasy do wodoru, względnie w przypadku Trójmiasta, poprzez integrację silników wiatrowych, lokalizowanych w pobliżu brzegów morskich i technologie elektrolizy wody.

Przewiduje się, że w 2010 roku rynek ogniw paliwowych może osiągnąć 20 miliardów USD. W następnej dekadzie rozwój ogniw paliwowych, obejmujący wszystkie możliwe zastosowania, ma stworzyć globalny rynek oceniany rocznie na 1.6 trylion USD. Należy dążyć do tego aby Polska mogła zaistnieć na tym rynku z takimi technologiami jak:

- stacjonarne układy energetyczne stanowiące integrację ogniw paliwowych i technologii beztlenowej fermentacji biologicznych odpadów, osadów ściekowych, względnie niskokalorycznego zgazowywania biomasy,
- autobusy komunikacji miejskiej napędzane ogniwami paliwowymi.

Dążenie do względnej samowystarczalności energetycznej kraju względnie regionów byłoby konsekwencją rozwijania produkcji takich nośników energii jak:

- *biometanol i biometan,*
- *energia elektryczna i ciepło grzewcze, wykorzystując między innymi energię geo termiczną,*
- *wodór uzyskiwany poprzez:*

1. *integrację silników wiatrowych z elektrolizą wody, wykorzystywaną w transporcie miejskim,*
2. *zgazowywanie węgla w połączeniu z osadami ściekowymi lub biomasą oraz mikrobiologicznej konwersji glukozy zawartej w upłynnionych śmieciach w lokalnych generatorach energii elektrycznej.*

Przedsięwzięciami prowadzącymi do rozwiązywania wyżej wymienionych strategicznych problemów gospodarki kraju są między innymi:

1. pozyskiwanie biomasy lignocelulozowej,

2. produkcja metanolu,
3. stacyjne układy energetyczne wykorzystujące technologie ogniwi paliwowych,
4. autobusy komunikacji miejskiej napędzane ogniwami paliwowymi zasilanymi wodorem.

Zabiega się o możliwość realizacji wyżej wymienionych przedsięwzięć w ramach korporacji międzypaństwowej, prowadzącej działalność gospodarczą w więcej niż w jednym kraju przez sieć własnych przedsiębiorstw, instytutów naukowych i samorządów terytorialnych.

Poniżej omówi się przedsięwzięcia mogące stanowić elementy długoterminowej strategii rozwoju kraju.

### Pozyskiwanie biomasy

Potencjalną rośliną energetyczną, uprawianą na gruntach 3 i 4-tej klasy jest wierzba krzewiasta. Obecnie na poletkach doświadczalnych w Irlandii uzyskuje się 30 tsm/ha rok, a na poletkach doświadczalnych Uniwersytetu Warmińsko Mazurskiego 20 – 25 tsm/ha rok. Mając na uwadze ciągły wzrost wydajności jednostkowej wierzby nie można wykluczyć uzyskania za 10 – 15 lat odmian wierzby o wydajności 35 tsm/ha rok, a nawet więcej.

Korzyści w postaci wartości sprzedaży z określonej powierzchni uprawy wierzby dla wybranych wydajności z ha i wybranych sprawności **przetwarzania do metanolu**, w cenie 1000 USD/t, w relacji do uprawy na tej samej powierzchni wierzby **stosowanej do celów grzewczych**, zastępując węgiel w cenie 50 USD/t, oraz w relacji **do owsa lub żyta** o wydajności 25 q/ha (Rocznik Statystyczny R.P. 2002, str. 672, 674) przy cenie 10 USD/q są jak **40 : 4 : 1**.

Dla wydajności 35 tsm/ha rok i sprawności przetwarzania 40 % oraz dla wydajności 35 tsm/ha rok i sprawności przetwarzania 50 % korzyści w relacji do owsa lub żyta wynosiłaby odpowiednio jak 1 : 56 i 1 : 70.

**Staje się oczywistym, że pozyskiwanie biomasy i przetwarzanie jej do metanolu winno stanowić strategiczne długoterminowe przedsięwzięcie realizowane na obszarach wiejskich.**

Wartość sprzedaży metanolu z uprawy wierzby na 1 milionie ha dla obecnie osiągalnych wydajności 25 t/ha rok i sprawności przetwarzania 40 % przy cenie 1000 USD/t oraz dla wydajności 35 t/ha rok i 50 % sprawności przetwarzania wynosiłaby odpowiednio 10 i 17.5 mld USD/rok.

Założmy, że zysk państwa pochodzący od sprzedaży metanolu stanowiłby tylko 20 % -wy podatek od sprzedaży metanolu. Gdybyśmy uprawiali wierzbę na powierzchni 4 milionów ha, dodatkowe wpływy do budżetu, z tytułu wzrostu wydajności i sprawności przetwarzania wynosiłyby 6 mld USD/rok.

Powierzchnię gruntów 5 i 6 klasy w Polsce szacuje się na 5 do 6 milionów ha. Kandydatami do uprawy na tych gruntach są takie energetyczne rośliny wieloletnie jak trzcinnik olbrzymi (synonim miskant) i ślázowiec pensylwański. Powstaje pytanie: jaki byłby możliwy zysk dla Państwa gdyby Nauka czyniła wysiłki, aby zwiększyć wydajność o 20 % trzcinnika i ślázowca.

Założmy jak poprzednio, że zysk państwa pochodzący od sprzedaży metanolu stanowiłby tylko 20 % -wy podatek od sprzedaży metanolu. Gdybyśmy uprawiali te rośliny na powierzchni 5 milionów ha, dodatkowe wpływy do budżetu, z tytułu wzrostu wydajności i sprawności przetwarzania, wynosiłyby 2 mld USD/rok.

Sumaryczny wzrost wpływów w wyniku wprowadzania bardziej wydajnych upraw roślin energetycznych wynosiłby 8 mld USD/rok.

Te przybliżone dane świadczą o skali możliwego dodatkowego zysku dla państwa jak i dla społeczeństwa. Ze szkodą dla nas wszystkich byłoby gdybyśmy nie zauważali i nie starali się poszukiwać możliwości uprawy wysokowydajnych roślin energetycznych. Nawet gdyby uzyskano wzrost wydajności wierzby o 20 % i pozostałych roślin, jak trzcinnik i ślázowiec o 10 %, nie uwzględniając



wzrostu sprawności przetwarzania, sumaryczny dodatkowy wzrost wpływów do budżetu z tytułu 20 % podatku mógłby wynosić  $1.6 + 0.4 = 2$  mld USD/rok.

Przy określonych krajowych zasobach gruntów, przeznaczanych pod uprawę biomasy, uzyskanie wysokiej wydajności uprawy znacznie zwiększałoby potencjał produkcyjny, a tym samym nasz udział na przyszłym rynku metanolu jako strategicznego paliwa. Gwarantem na uzyskiwanie wysokiej wydajności winno być właściwe zintegrowane działanie nauki i państwa. Winno ono objąć nadzorem wszystkich plantatorów po to, aby zasoby krajowe gruntów, które są także dobrem narodu, generowały większy zysk równocześnie dla kapitału prywatnego i dla państwa, a więc dla społeczeństwa.

Ponadto uprawa biomasy i jej przetwarzanie staje się szansą tworzenia nowych dróg rozwoju i nowych miejsc pracy na obszarach wiejskich, tak istotnych dla wyrównywania luki ekonomicznej i cywilizacyjnej pomiędzy wsią i miastem. Jest to globalnym celem Konsorcjum „Bioenergia na Rzecz Rozwoju Wsi”.

**Dążenie do uzyskiwania wysokiej wydajności roślin energetycznych staje się więc jednym z uwarunkowań dla osiągnięcia wyżej wymienionego celu.**

### **Produkcja metanolu**

Metanol, jako sposób na dostarczenie wodoru do ogniw paliwowych, można uzyskiwać w wyniku przetwarzania chemicznego lub mikrobiologicznego biomasy.

Istnieje możliwość, co należy traktować jako rzecz naturalną, zainteresowanie metanolem firm nie mających dotychczas nic wspólnego ani z rolnictwem ani z biopaliwami. Mogą one traktować rolników wyłącznie jako dostawców surowców, dyktując równocześnie ceny, wprowadzając równocześnie wysoki stopień mechanizacji prac. Stosując pracę rąk ludzkich w zakładaniu plantacji i żniw na obszarze 1 miliona ha liczba zatrudnionych mogłaby osiągnąć 330 000 osób. Zastępując pracę rąk ludzkich pracami zmechanizowanymi liczba zatrudnionych wynosiłaby około 50 tysięcy osób.

Przewiduje się liczbę bezrobotnych na obszarach wiejskich w 2015 roku na około 5 mln. Przyjmując możliwość uprawy wierzby na 10 mln ha, stosując pracę rąk ludzkich, stworzono by miejsce pracy dla 3.3 mln osób, wprowadzając wysoki stopień mechanizacji tylko 500 000 osób.

W związku z powyższym istnieje konieczność tworzenia naturalnych mechanizmów, pozwalających w przedsięwzięciu rozwoju wsi uczestniczyć kapitałowi prywatnemu z równoczesnym uwzględnianiem interesu wsi. Tworzenie takich mechanizmów staje się **drugim uwarunkowaniem wyrównywania luki ekonomicznej i cywilizacyjnej pomiędzy wsią i miastem.**

**Jednym naturalnym mechanizmem** zapewniającym nie tylko gwarancję, aby rolnicy nie byli wyłącznie producentami surowca, ale aby rozwój obszarów wiejskich następował w sposób zrównoważony, byłaby technologia mikrobiologicznego przetwarzania lignocelulozy do metanolu. Byłoby to wielkie wyzwanie nauki na rzecz rozwoju obszarów wiejskich. I to jest jedno z zadań badawczych podejmowanych przez Konsorcjum „Bioenergia na Rzecz Rozwoju Wsi”.

Mikrobiologiczne przetwarzanie lignocelulozy nie byłoby uwarunkowane, tak jak chemiczne przetwarzanie, koniecznością budowy zakładów o dużej mocy nominalnej, koncentracji dużej powierzchni uprawy, a więc koncentracji kapitału i środków. Pozwoliłoby to tworzyć średnio-obszarowe gospodarstwa rolne jako rozproszone samodzielne przedsiębiorstwa, wytwarzające produkt finalny jakim byłby biometanol. Opanowanie technologii mikrobiologicznego przetwarzania lignocelulozy byłoby przedsięwzięciem na skalę światową, mogłoby stanowić przedmiot eksportu.

**Drugim z tych mechanizmów**, dopóki nie opracujemy technologii mikrobiologicznego przetwarzania lignocelulozy, to samofinansujące się Krajowe Stowarzyszenie Producentów Biometanolu, w którym rolnicy na równych prawach z innymi akcjonariuszami byłiby współudziałowcami we wspólnym przedsięwzięciu, wkładając do tego przedsięwzięcia swoją ziemię jako akcje, i po odpowiedniej edukacji obok akcji wkładali by jako kapitał swoją wiedzę.

## Stacjonarne układy energetyczne wykorzystujące technologie ogniw paliwowych

Jak wykazano poprzednio wartość sprzedaży biomasy jako nośnika energii współzawodniczącego z węglem jest około 10-cio krotnie mniejsza w porównaniu do wartości sprzedaży przetworzonej biomasy jako wtórnego nośnika energii współzawodniczącego z benzyną. Z tych też względów nie rozważa się wykorzystywania biomasy jako paliwa w stacjonarnych układach energetycznych.

Planuje się opanowanie technologiczne, a następnie komercyjne, stacjonarnych układów energetycznych małej mocy jako:

1. integrację ceramicznych ogniw paliwowych z technologią produkcji metanu poprzez beztlenową fermentację: osadów pochodzących z oczyszczalni mleczarskich ścieków i komunalnych, oraz gnojowicy pochodzącej z ferm tuczu trzody chlewnej i bydła,
2. integrację ceramicznych ogniw paliwowych z technologią niskokalorycznego zgazowywania mokrej oraz względnie suchej biomasy lignocelulozowej do tlenku węgla o mocy około 200 i 500 kW,
3. integrację uprawy biomasy, zgazowywania jej, ogniw paliwowych, pompy ciepłej i układu wymiany ciepła pomiędzy wnętrzem skorupy ziemskiej i komunalnym użytkownikiem ciepła, także, w dalszej perspektywie, jako:
4. integrację biologicznych polimerowych ogniw paliwowych z wodorem będącym produktem mikrobiologicznej konwersji glukozy, uzyskiwanej w wyniku upłynniania śmieci.

Biologiczne ogniwo jest przyjazne środowisku, działa w temperaturze pokojowej. Dwa litrowe ogniwo może zasilac w energię całe gospodarstwo domowe. Wyhodowano specjalne bakterie, długo żyjące i produkujące znaczne ilości wodoru, które zwiększałyby bardzo znacznie sprawność produkcji.

Wyżej wymienione układy energetyczne mogą nie tylko tworzyć produkt globalny gospodarki, o wysokim stopniu innowacyjności, tak potrzebny dla zaistnienia Polski na rynku światowym, ale równocześnie mogą przyczynić się do ochrony środowiska oraz w pewnym wymiarze do samowystarczalności energetycznej gospodarki.

Rola nauki w wymienionym przedsięwzięciu to beztlenowa fermentacja osadów i odpadów biologicznych, w dalszej perspektywie mikrobiologiczne przetwarzanie śmieci do wodoru i ograniczenie lub wyeliminowanie na gruncie biologii molekularnej użycia ropy naftowej w produkcji opakowań z tworzyw sztucznych.

### **Autobusy komunikacji miejskiej napędzanych ogniwami paliwowymi zasilanymi wodorem**

Pojawia się rynek transportu miejskiego, wykorzystującego system ogniw paliwowych do napędu autobusów. Dokonuje się tego w celu zmniejszenia szkodliwego oddziaływania paliw ropopochodnych stosowanych w transporcie miejskim na zdrowie ludzkie.

Pierwszym krajem Unii Europejskiej zapoczątkowującej produkcję autobusów napędzanych ogniwami paliwowymi przy pomocy USA jest Irlandia. Firma Icelandic New Energy powiadomiła o otwarciu w tym roku pierwszej stacji dystrybucji wodoru. Będą one zasilaty w wodór autobusy firmy Daimler Chrysler. Urząd miejski Tokyo będzie wprowadzał do komunikacji miejskiej autobusy napędzanych ogniwami paliwowymi począwszy od lata 2003 roku. Ma to być narodowy debiut autobusów o zerowej emisji zanieczyszczeń. Autobusy wyposażone w polimerowe ogniwa paliwowe jako środek napędu przeszły badania testowe i są gotowe do obsługi transportu w mieście Barth, Niemcy.

Zgodnie z uchwałą Parlamentu Europejskiego do 2020 roku mają one zastąpić wszystkie autobusy komunikacji miejskiej. W Niemczech do 2020 roku, a więc za 13 lat, mają zastąpić wszystkie autobusy komunikacji miejskiej i międzymiastowej. Na tym rynku winna pojawić się Polska.

Mając powyższe na uwadze, zadaniem stawianym przed nauką winno być:

- opanowanie względnie wdrażanie technologii produkcji wodoru, między innymi w wyniku łącznego przetwarzania węgla, śmieci i biomasy,
- wdrażanie technologii autobusów napędzanych ogniwami paliwowymi,
- przygotowywanie się organizacyjne do uczestnictwa na przyszłym rynku światowym.

Wdrażanie nowych technologii do polskiego przemysłu motoryzacyjnego oraz zapoczątkowanie produkcji w Polsce tego typu autobusów stwarzałyby perspektywę aktywizacji aglomeracji miejskich, między innymi Śląska. Trójmiasto Gdańsk–Sopot–Gdynia jest potencjalną aglomeracją mogącą wykorzystywać źródła energii odnawialnej do środków transportu miejskiego o zerowej emisji zanieczyszczeń. Jest to chyba jedyny potencjalny przypadek w warunkach polskich, gdzie można by wykorzystywać energię kinetyczną wiatrów do produkcji wodoru, pod warunkiem, że również z innych względów będzie to opłacalne ekonomicznie.

### **Badania systemowe**

Transformacja z Ekonomii Paliw Kopalnych do Ekonomii Wodorowej będzie wymagać udziału nauki w rozwiązywaniu wielu zagadnieniach systemowych. Przede wszystkim edukacji tych, którzy mają uprawiać wysokowydajną biomasę, przetwarzać ją, zarządzać produkcją biometanolu, uruchamiać odpowiednią produkcję związaną z zastosowaniem ogniw paliwowych, którzy mają opracowywać odpowiednie systemy komputerowe wykorzystywane dla projektowania przedsiębiorstw, którzy mają przyczynić się do tego, aby Nauka wprowadzała nowoczesność na obszary wiejskie i aglomeracje miejskie.

W momencie, gdy cały świat cywilizowany dąży szybkimi krokami do zrównoważonej przyszłości i zrównoważonej mobilności jednostki, gdy pojawia się przyszły globalny rynek ogniw paliwowych obejmujący wszystkie możliwe zastosowania, obowiązkiem badań systemowych jest wyjaśniać z jakimi dylematami rozwoju miast i wsi mogłyby spotykać się przyszłe pokolenia. Do dylematów tych można zaliczyć takie zagadnienia jak:

- przyszłe potrzeby ludności,
- jakość środowiska w miastach, naturalne zasoby a zachowanie środowiska,
- przyszłość energii, możliwości rozwoju i zagrożeń.

Powstaje więc globalny problem określenia szansy i zagrożeń rozwoju kraju do roku 2050, gdy zgodnie z zapewnieniem Prezydenta Unii Europejskiej Romano Prodiego Europa ma stać się super mocarstwem wodorowym. Nauka poprzez badania systemowe musi możliwie szybko odpowiedzieć na pytanie, jakie jest miejsce Polski w Unii Europejskiej. Na to pytanie nie da się odpowiedzieć jeżeli nie uwzględnimy możliwości rozwoju wynikających z wykorzystywania technologii ogniw paliwowych.

Warunkiem powodzenia w wykorzystywaniu przełomu, stwarzającego szansę, aby dochód narodowy na mieszkańca w Polsce dorównywał w przyszłości dochodowi na mieszkańca występującemu w pozostałych krajach Unii, jest zrozumienie, że tylko wspólne kompetentne działanie nauki, obok parlamentu, organizacji rządowych i pozarządowych, samorządu terytorialnego oraz biznesu pomoże przyczynić się do tego.



