

Tomasz Kamiński¹⁾, Przemysław Filipek²⁾

WODOROWE OGNIWO PALIWOWE – EKOLOGICZNE ŹRÓDŁO ZASILANIA POJAZDÓW PRĄDEM STAŁYM

Streszczenie: W artykule opisano zasadę pracy wodorowego ogniwa paliwowego oraz jego możliwości zasilania pojazdów elektrycznych. Porównano wady i zalety pojazdów spalinowych i elektrycznych zarówno pod względem technicznym jak i ekologicznym.

Słowa kluczowe: wodorowe ogniwo paliwowe, pojazd elektryczny.

WSTĘP

Od dawna mówi się o niszczycielskim wpływie działalności człowieka na naszą planetę. Globalne ocieplenie, wycinanie lasów deszczowych, zanieczyszczenie powietrza gazami cieplarnianymi. Dużą część zanieczyszczeń wprowadza transport, którego podstawowym napędem jest obecnie silnik spalinowy. Jednym ze sposobów zapobiegania temu zjawisku jest pokonanie uzależnienia od paliw kopalnych i korzystanie z ekologicznych, odnawialnych i niewyczerpanych źródeł energii. Najlepszą alternatywą dla pojazdów spalinowych jest pod względem ekologicznym – pojazd elektryczny. Nie zużywa on do napędu benzyny, lecz potrzebuje energii elektrycznej. Istnieją metody pozyskiwania energii z promieni słonecznych, są sposoby wykorzystania mocy wiatru, ciepła wewnętrznego Ziemi, a nawet wykorzystania pływów morskich. Istnieją również ogniwa paliwowe zamieniające paliwo (wodór i tlen) w elektryczność, wodę i ciepło. Za stosowaniem silników elektrycznych przemawia również fakt, że silniki spalinowe zużywają tylko ok. 30% energii zawartej w paliwie [1], a sprawność ogniw paliwowych sięga 60%.

OGNIWA PALIWOWE

Historia ogniw paliwowych

Zasadę ich działania odkrył szwajcarski chemik niemieckiego pochodzenia Christian Friedrich Schoenbein w 1838 roku, jednak pierwsze działające ogniwo paliwowe stworzył kilka lat później walijski naukowiec sir Wiliam Grove [4]. Ogniwa te nie znalazły jednak praktycznego zastosowania, aż do lat sześćdziesiątych ubiegłego wieku, kiedy to Stany Zjednoczone zaczęły wykorzystywać ogni-

¹ Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Studenckie Koło Naukowe Zastosowań Mechatroniki „Elmech”.

² Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn.

wa z membranami polimerowymi, a alkaliczne ogniwa paliwowe (AFC) dostarczały energii elektrycznej, wody i ciepła podczas ówczesnych misji kosmicznych Gemini i Apollo [2].

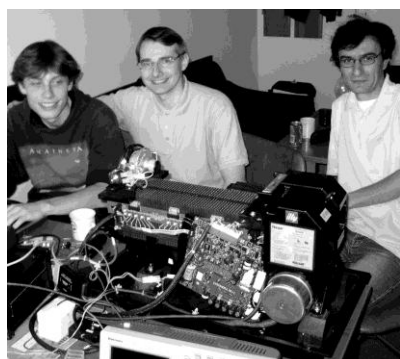
Rodzaje ogniw paliwowych

Klasyfikację ogniw paliwowych można przeprowadzić w zależności od:

- a) sposobu wykorzystania paliwa [2]:
 - bezpośrednie doprowadzenie wodoru,
 - pośrednie – paliwo uzyskiwane jest w procesie reformingu,
- b) temperatury pracy ogniw [2]:
 - niskotemperaturowe (25-100°C),
 - średnotemperaturowe (100-500°C),
 - wysokotemperaturowe (ponad 500°C),
- c) rodzaju zastosowanego elektrolitu [3]:
 - polimerowe – z polimerową membraną (PEMFC),
 - alkaliczne (AFC),
 - alkoholowe (DMFC),
 - kwasowe (DFAFC),
 - węglanowe (MCFC),
 - tlenkowo-ceramiczne (SOFC),
 - cynkowo-powietrzne (ZAFC).

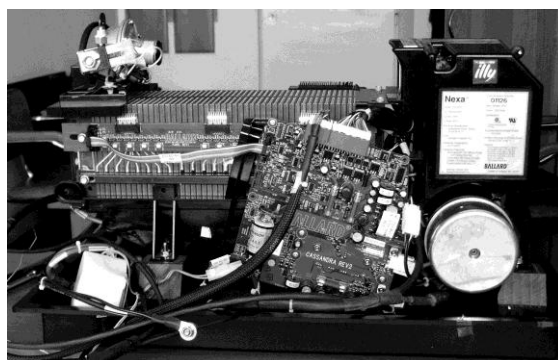
Budowa i zasada pracy spóczesnego ogniwa paliwowego

W budowie wodorowych ogniw paliwowych specjalizuje się kanadyjska firma Ballard. Kilka lat temu autor miał dostęp do systemu ogniw paliwowych Nexa tej firmy (rys. 1 oraz rys. 2).



Rys. 1. Autor (pośrodku) przy systemie ogniw paliwowych Nexa

Fig. 1. Author (in the middle) next to the Nexa fuel cells system

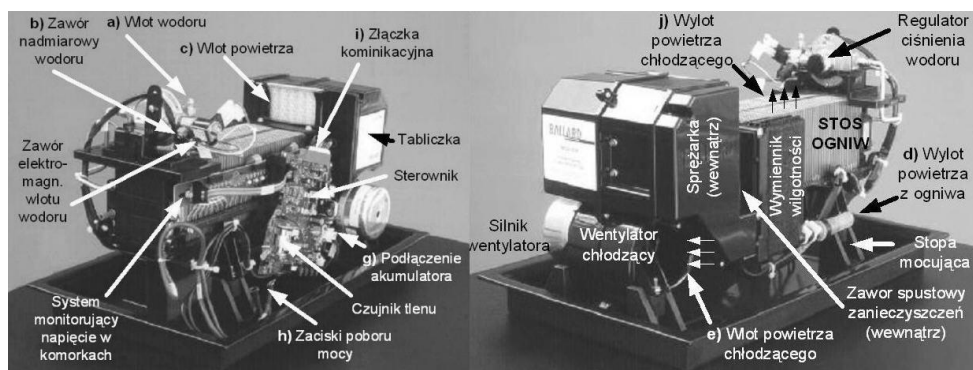


Rys. 2. Widok systemu ogniw paliwowych Nexa firmy Ballard

Fig. 2. View of fuel cells system Nexa from Ballard company

System Nexa™ jest pakietem w pełni zintegrowanym, który wytwarza energię elektryczną prądu stałego z zapasów wodoru i powietrza. Stos ogniw paliwowych firmy BALLARD (rys. 2) zawiera wszystkie układy pomocnicze potrzebne do prawidłowego działania ogniwa paliwowego.

Układy pomocnicze zajmują się dostawą wodoru, dostawą powietrza zaopatrzonego w tlen oraz dostawą powietrza potrzebnego do chłodzenia stosu ogniw. Czujniki monitorują osiągi systemu, natomiast panel sterujący i mikroprocesor automatyzują jego pracę. Układ Nexa™ zawiera system zapewniający bezpieczną pracę wewnątrz pomieszczeń zamkniętych. Widok części składowych układu Nexa przedstawia rysunek 3.



Rys. 3. Części składowe systemu Nexa [5]

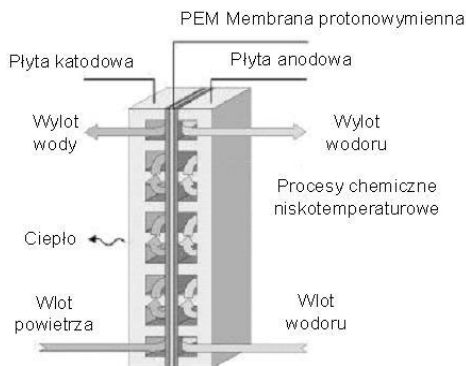
Fig. 3. System Nexa component parts [5]

System Nexa™ został zaprojektowany by dostarczać 1.2 kW mocy netto. Stos ogniw osiąga napięcie od około 43 V bez obciążenia do około 26 V pod pełnym obciążeniem. Podczas pracy systemu Nexa™ napięcie stosu ogniw paliwowych jest monitorowane w celach kontroli diagnostycznej oraz w celach bezpieczeństwa. Dodatkowo kontroler napięcia monitoruje osiągi indywidualnych komórek ogniwa i wykrywa komórki o niskim napięciu. Jeżeli nastąpi defekt komórki albo wystąpi potencjalne niebezpieczeństwo podczas pracy stosu ogniw to system wyłączy się automatycznie.

Jedna cela ogniwa paliwowego firmy BALLARD składa się z dwóch elektrod, anody i katody, które są oddzielone od siebie membraną polimerową. Każda z elektrod jest z jednej strony powleczona cienką warstwą platyny, która jest katalizatorem. Pojedyncza komórka ogniwa paliwowego składa się z elektrod powleczonych katalizatorem, membrany oraz płyt z kanałami doprowadzającymi powietrze i wodór. Przedstawia to rys. 4.

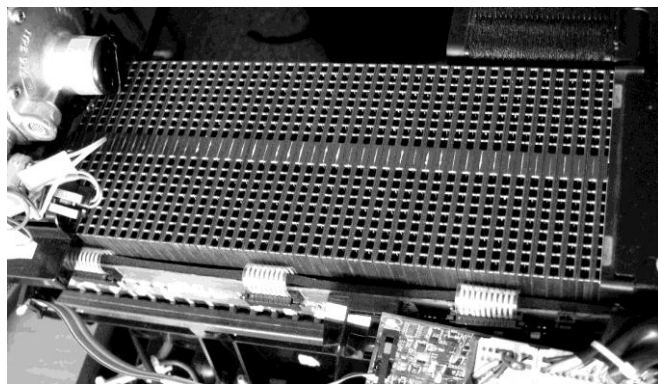
Gazy (wodór i powietrze) są dostarczane do odpowiedniej strony elektrody poprzez system kanałów wykonanych w płycie ogniwa. Wodór dostarczany jest do anody, gdzie w obecności katalizatora platynowego następuje jego rozczepienie na protony i elektrony. Wolne elektrony przechodzą do zewnętrznego obwodu

elektrycznego zaś protony migrują poprzez membranę na stronę katodową. Tu w wyniku łączenia się protonów, elektronów z obwodu zewnętrznego i tlenu z powietrza powstaje czysta woda i wydzielą się ciepło.



Rys. 4. Konstrukcja pojedynczej komórki systemu Nexa [5]
Fig. 4. Construction of single cell of Nexa system [5]

Poszczególne komórki ogniwa paliwowego są łączone w stos, tak aby uzyskać potrzebną moc prądu elektrycznego. Rysunek 5 przedstawia widok połączonych w stos komórek ogniwa paliwowego. Z pojedynczej komórki można uzyskać około 1 V w trakcie pracy bez obciążenia i około 0.6 V pod pełnym obciążeniem. Wszystkie komórki są połączone szeregowo w celu uzyskania wymaganego napięcia.



Rys. 5. Połączone w stos komórki ogniwa paliwowego Nexa
Fig. 5. Connected Nexa fuel cells into cells stack

Stos ogniw jest zasilany sprężonym wodorem. Regulator ciśnienia nieustannie uzupełnia wodór który jest zużywany podczas reakcji w komórkach ogniwa. Azot i woda zawarta w strumieniu powietrza powoli migruje przez membranę komórki ogniwa i stopniowo gromadzi się w strumieniu wodoru. Akumulacja azotu i wody na anodzie pogarsza parametry pracy ogniwa, dlatego okresowo jest otwierany zawór, który umożliwia wypłukanie nagromadzonych zanieczyszczeń, a przez to przywrócenie pełnych jego osiągnięć.

POJAZDY ELEKTRYCZNE

Pojazdy elektryczne potrzebują źródła prądu stałego. Zazwyczaj są to akumulatory trakcyjne wspomagane panelami fotowoltaicznymi – doładowywane z zewnątrz. Odpowiednio dobrane ogniwo paliwowe potrafi zapewnić ciągłą dostawę wymaganego prądu a jednocześnie doładowywać akumulatory podczas jazdy i postoju.

Rys historyczny

Historia pojazdów elektrycznych zaczyna się już w 1835 r., kiedy to Thomas Davenport zbudował elektryczną kolej liniową, a w 1838 r. zbudował pierwszą lokomotywę elektryczną (osiągała prędkość 6 km/h). W tym samym roku Sibrandus Stratingh Groningen i Christopher Becker skończyli budowę pierwszego elektrycznego samochodu, a w roku 1899 Camille Jenatton przekroczył barierę 100 km/h.

Najlepsze lata motoryzacji elektrycznej przypadają na pierwszą dekadę XX wieku. Po roku 1912 pojazdy na benzynę przejęły dominację nad elektrycznymi, a 10 lat później całkowicie je wyparły. Pojazdy elektryczne wróciły do łask dopiero od lat 60-tych, ale znaczenia nabrały dopiero w latach 90-tych, kiedy zastrzono wymagania dotyczące emisji spalin.

Współczesne samochody elektryczne i hybrydy

W obecnej chwili rynek pojazdów z silnikami elektrycznymi nie jest zbyt bogaty. Każdy większy producent samochodów prowadzi badania nad tego typu rozwiązaniami, istnieje kilka seryjnych modeli takich jak np.: Mitsubishi i-MiEV, Chery S18 czy RE-VOLT jednak to dopiero początek.

Elektryczny napęd pojazdów ma wiele zalet: prostota wykonania i mało ruchomych części co czyni go bardzo niezawodnym, niższe koszty podróży spowodowane m.in. wyższą sprawnością silników elektrycznych (80-90%), nie wymaga stosowania skrzyni biegów z racji wysokiego momentu obrotowego oraz jest dużo cichszy od silników spalinowych.

W dobie dzisiejszej dominacji pojazdów spalinowych, bezpośrednie przejście na pojazdy elektryczne nie jest realne z powodu małych jeszcze zasięgów. Z tego też względu najczęściej buduje się hybrydy (pojazdy elektryczne z silnikiem spalinowym), które mogą jeździć zarówno ekologicznie, jak i w sposób tradycyjny – spalinowy.

Hybrydowy układ napędowy zastosowano w takich samochodach jak [2]: Toyota Prius, Four Hybryd, Fiat Multipola Hybryd Power, Nissan Tino Hybryd, Mira, Honda Insight, Lexus RX400h oraz w różnego rodzaju autobusach hybrydowych.

Zalety i wady pojazdów elektrycznych

Zalety:

1. Komfort i wygoda jazdy. Pojazd z silnikiem elektrycznym jest bardziej wygodnym środkiem komunikacji od innych środków transportu. Cicha praca silnika elektrycznego, „miękki” start i hamowanie oraz brak wydalania spalin sprawiają, że podróż takim pojazdem jest zdecydowanie bardziej komfortowa i przyjemna.
2. Brak tradycyjnej skrzyni biegów. Silniki elektryczne przy niskich obrotach zapewniają wysokie momenty obrotowe, więc skrzynia biegów jest zbędna.
3. Czystość ekologiczna. Pojazdy elektryczne są czyste ekologicznie. Ogniwa wodorowe wytwarzają oprócz prądu – tylko ciepło i wodę. Brak emisji do otoczenia szkodliwych toksyn, co łagodzi tendencję globalnego ocieplenia, zalicza je do grupy ZEV (ang. zero emission vehicle).
4. Większa przewidywalność kosztów energii elektrycznej. Komunikacja pojazdami elektrycznymi zmniejsza zależność państwa od cen i rynków ropy naftowej oraz wydarzeń międzynarodowych. Do wytwarzania prądu elektrycznego można wykorzystywać źródła odnawialne (słońce, wiatr, pływy morza).
5. Zdecydowanie niższe koszty eksploatacji. Sprawność pojazdów z silnikiem elektrycznym zawiera się w granicach 75-80%, w porównaniu do silników spalinowych 15-20%. W przeliczeniu, pojazd elektryczny zużywa nawet do 90% mniej energii. Ponadto odpada konieczność wymiany świec, płynów (hamulcowego, chłodzącego, oleju silnikowego) oraz filtrów: oleju i paliwa.
6. Odzyskiwanie prądu. Pojazd elektryczny ma możliwość odzyskiwania prądu podczas hamowania lub jazdy z górki (rekupresory). Silnik pracuje wtedy jako prądnica. Może to zwiększyć wydajność pojazdu nawet o 5-20%.
7. Ekologiczny postój w „korku”. Podczas postoju w „korku” kierowca traci jedynie czas. Silnik elektryczny jest włączany tylko podczas jazdy. Ponadto, w czasie postoju, akumulatory są ładowane przez panele fotowoltaiczne. Ogniwo paliwowe nie jest uruchamiane.
8. Cztery możliwości ładowania akumulatorów. Akumulatory w pojeździe elektrycznym z ogniwem wodorowym oraz panelem solarnym są doładowywane przez prąd z ogniwa paliwowego, a w razie wyczerpania wodoru – z panelu fotowoltaicznego, przez rekupresory lub poprzez gniazdo ładowania zewnętrznego (np. w domu).
9. Wbudowany ABS. Mikroprocesorowe sterowanie w pojeździe elektrycznym zapewnia automatyczne sterowanie hamowaniem (ABS) bez konieczności używania oddzielnych modułów.
10. Uproszczone sterowanie. Do sterowania jazdą w pojeździe elektrycznym wystarczy joystick zamiast kierownicy oraz pedały przyspieszacza i hamulca.
11. Uproszczony przegląd techniczny. W ramach przeglądu technicznego wystarczy wymienić opony i dolać płynu do spryskiwaczy.

Wady napędu elektrycznego w odniesieniu do spalinowego:

1. Mniejszy zasięg pojazdu. Ze względu na ograniczoną pojemność zbiornika wodoru oraz na dość długi proces ładowania (ładowanie może odbywać się w porze nocnej – przez gniazdo ładowania zewnętrznego, oraz w dzień podczas postoju pojazdu – za pomocą panelu fotowoltaicznego) zasięg pojazdu jest mniejszy od zasięgu pojazdów spalinowych. Ponadto, częste przyspieszania oraz jazda z większymi prędkościami powodują dalsze zmniejszenie maksymalnego zasięgu auta.
2. Zakłócenia elektromagnetyczne. Silniki elektryczne emitują podczas pracy różnego rodzaju zakłócenia elektromagnetyczne mogące wpływać np. na pracę telefonów komórkowych czy radia.

Pojazdy z wodorowym ogniwnem paliwowym

Do pojazdów elektrycznych z zastosowanym ogniwnem paliwowym zalicza się NECAR (New Electronic Car) firmy Mercedes-Benz (rys. 6). Zbiorniki wodoru o masie 300 kg i moc ogniwa paliwowego 75 kW umożliwiły uzyskanie prędkości 110 km/h i zasięgu 300 km [2].



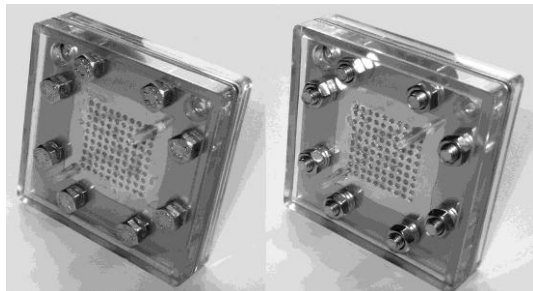
Rys. 6. Pojazd elektryczny NECAR firmy Mercedes-Benz z ogniwnem paliwowym [6]
Rys. 6. Electric car NECAR Mercedes-Benz company with fuel cell [6]

Od roku 2003 powstało już wiele pojazdów elektrycznych z wykorzystaniem ogniwa paliwowego takich firm jak: DaimlerChrysler, Ford, General Motors, Honda, Mazda, Mitsubishi, Nissan, Peugeot, Renault, Toyota i Volkswagen. Ich parametry są porównywalne. Przy rozpiętości mocy ogniwa paliwowego 50-89 kW samochody osiągają prędkość maksymalną 90-145 km/h przy zasięgu 160-640 km [2].

Oprócz samochodów osobowych produkowane są również autobusy osiągające zasięg 300 km przy prędkości maksymalnej 80 km/h przez firmy: DaimlerChrysler, Irisbus, MAN, Scania i Toyota [2].

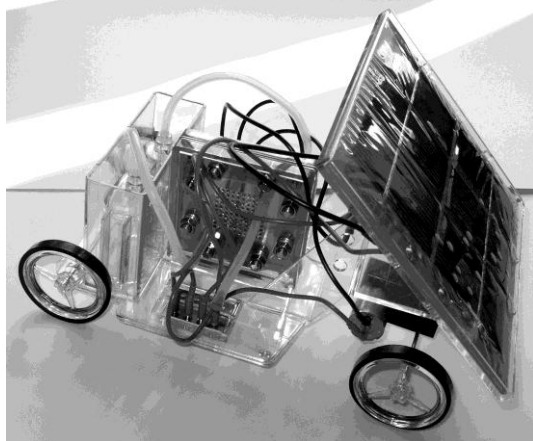
Wydaje się, że zbudowanie pojazdu elektrycznego napędzanego wodorowym ogniwnem paliwowym oraz ogniwnem fotowoltaicznym to bardzo trudne zadanie. Ale w dzisiejszych czasach może to wykonać nawet 12-letnie dziecko, za sprawą zestawu edukacyjnego - Ogniwo paliwowe - firmy KOSMOS. Zestaw zawiera

wszystkie niezbędne elementy do budowy takiego ekologicznego pojazdu, a więc: jednokomórkowe wodorowe ogniwo paliwowe, podwozie modelu samochodu z kołami, napędzający silnik elektryczny, zbiorniczki na tlen i wodór, panel fotowoltaiczny oraz niezbędne kable i rurki.



Rys. 7. Widok jednokomórkowego wodorowego ogniwa paliwowego z obu stron

Fig. 7. View on the one-cell hydrogen fuel cell from both side



Rys. 8. Widok zmontowanego pojazdu elektrycznego z ogniwem paliwowym i panelem fotowoltaicznym – zestaw edukacyjny firmy Kosmos

Fig. 8. View on the electric vehicle with fuel cell and photovoltaic panel – educate kit Kosmos company

Widok rzeczywistego ogniwa (z obu stron) przedstawiono na rys. 7. Gotowy, zbudowany pojazd przy wykorzystaniu tego zestawu przedstawia rys. 8.

PIŚMIENNICTWO

1. Czerwiński A.: Akumulatory baterie ogniwa. WKŁ, Warszawa 2005, s. 152-169.
2. Jastrzębska G.: Odnawialne źródła energii i pojazdy proekologiczne. WNT, Warszawa 2007, s. 120-210.
3. Lewandowski W.: Proekologiczne odnawialne źródła energii. WNT, Warszawa 2007, s. 375-403.
4. Bahnemann D., Pujiula F., Berge Ch.: Instrukcja do zestawu edukacyjnego Ogniwo paliwowe firmy KOSMOS, Stuttgart 2006.
5. Nexa User's Manual Rev. 0A, 2003.
6. Strona internetowa Car Design Online (www.carsdesignonline.com)

HYDROGEN FUEL CELL – ECOLOGY SOURCE OF SUPPLYING VEHICLE DIRECT CURRENT

Summary

The article show base work of hydrogen fuel cell and his possibility to supplying electric vehicles. We compare advantages and disadvantages of electric and petrol vehicles in technical and ecology respect.

Keywords: hydrogen fuel cell, electric vehicle.