**ZSP Węgrów**

**Warsztaty Szkolne**

# *OGNIWA PALIWOWE, JAKO ŹRÓDŁO ZASILANIA POJAZDÓW SAMOCHODOWYCH*

*Autor: mgr Franciszek Łazowski*
*Nauczyciel zajęć praktycznych*
*Praktyczna nauka zawodu:*
*mechanik pojazdów samochodowych*
*ZSP im Jana Kochanowskiego w Węgrowie*

# Wstęp

Obecnie obserwuje się coraz więcej problemów ekologicznych na Ziemi. Środowisko jest stale zaśmiecane, niszczone są zasoby przyrody. Rabunkowa eksploatacja zasobów naturalnych doprowadziła do gwałtownego zmniejszenia się ich ilości. Emisja toksycznych gazów i pyłów przez zakłady przemysłowe doprowadziła do zatrucia powietrza. Zmniejsza się powierzchnia terenów zalesionych. Coraz częściej zdarzają się katastrofy ekologiczne: awarie elektrowni jądrowych, katastrofy tankowców. Wymiera coraz więcej gatunków zwierząt i roślin. Została zakłócona harmonia między człowiekiem a przyrodą. Czy grozi nam kryzys ekologiczny? Aby rozwiązać współczesne problemy naszego środowiska trzeba poszukiwać nowych rozwiązań technicznych.

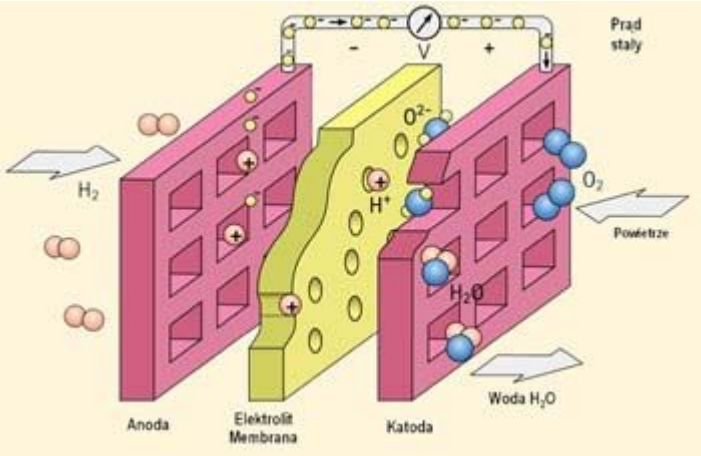
Celem referatu jest ukazanie ogniwa paliwowego, jako alternatywnego źródła energii do zasilania pojazdów samochodowych. Ogniwa paliwowe nie są nowym wynalazkiem. Pierwsze takie ogniwo William Grove zbudował w Anglii w roku 1839. Jednak dopiero w latach 50 i 60. XX wieku zainteresowano się nimi poważniej, a to w związku z potrzebami przemysłu kosmicznego. Okazało się, że już wtedy ogniwa paliwowe wygrały z kosztownymi i niebezpiecznymi ogniwami jądrowymi, zawierającymi substancje promieniotwórcze oraz z jeszcze droższymi wówczas bateriami słonecznymi. Ogniwa paliwowe instalowano w statkach Gemini, Apollo; do dziś są wykorzystywane w promach kosmicznych. Podejmuje się poważne próby wykorzystania ogniw paliwowych do napędu samochodów. Kilku producentów samochodów i autobusów prezentuje i zapowiada rychłe wprowadzenie na rynek pojazdów z ogniwami paliwowymi. Autobusy napędzane silnikami elektrycznymi z ogniwami paliwowymi są testowane w kilku miastach świata. Nowością są rowery i skutery wykorzystujące ogniwa paliwowe i silniki elektryczne. Honda wypuściła na rynek samochód osobowy pod nazwą „Honda FCX” Jest to pierwszy na

świecie seryjny samochód z napędem zasilanym ogniwami paliwowymi.

Zamiast spalin wydziela do atmosfery jedynie parę wodną. Jego sprzedaż rozpoczęła się już w Los Angeles. Czy fakt ten oznacza początek nowej motoryzacyjnej ery, odznaczającej się dominacją silników niezależnych od paliw naftowych i doskonale neutralnych pod względem ekologicznym? Już sama nazwa „ogniwa paliwowe" budzić tu może pewne wątpliwości, nawet, gdy (jak w Hondzie FCX) paliwem tankowanym do pojazdu jest czysty, sprężony wodór, uzyskiwany przez elektrolizę wody.

## Ogniwa paliwowe

W ostatnim czasie wiele mówi się o ogniwach paliwowych. Nazywa się je źródłami energii XXI wieku i podkreśla zalety, w tym głównie brak toksycznych odpadów. Nazwa ***ogniwo paliwowe*** (ang. fuel cell) niewiele mówi. Tymczasem chodzi o rodzaj baterii czy akumulatorów. Ogniwo paliwowe, podobnie jak bateria, jest źródłem prądu stałego. Patrząc ze strony użytkownika, ogniwo paliwowe zachowuje się jak typowa bateria, bądź akumulator. Ma dwa bieguny i jest źródłem prądu stałego. Nie jest jednak rodzajem akumulatora, który jest cyklicznie ładowany prądem i rozładowywany. ***Ogniwo paliwowe jest ładowane, a właściwie tankowane wodorem*** lub metanolem. Zamienia energię chemiczną paliwa na elektryczną. Rysunek nr 1 pokazuje w uproszczeniu zasadę działania.



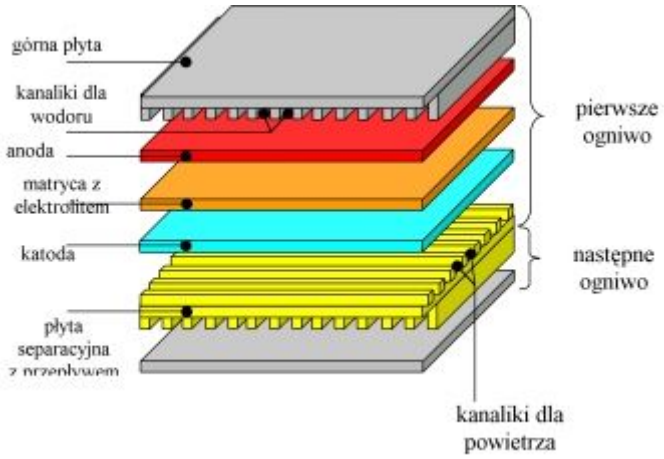

*Rys.1 Schemat działania ogniwa paliwowego*

Pod wpływem katalizatora atomy wodoru rozszczepiają się na proton (H+) i elektron (e-). Protony przechodzą przez elektrolit i membranę oddzielającą elektrody wewnątrz ogniwa. Elektrony nie mogą przejść przez tę membranę i płyną od anody do katody na zewnątrz ogniwa. Jest to prąd elektryczny, który można wykorzystać. Na katodzie wodór łączy się z tlenem z powietrza i produktem reakcji jest woda (para wodna) i ciepło. Jak długo do właściwego ogniwa paliwowego dopływa wodór i tlen, tak długo wytwarza ono prąd elektryczny, ciepło i wodę.

Znane są różne rodzaje ogniw paliwowych, na przykład z kwasem fosforowym (Phosphoric Acid), z membraną protonową (PEM - Proton Exchange Membrane), ze stopionym węglanem (Molten Carbonate), z tlenkiem (Solid Oxide Fuel Cells), alkaliczne, bezpośrednio wykorzystujące metanol (Direct Methanol Fuel Cells), czy regeneracyjne (Regenerative Fuel Cells). Mają one odmienną budowę, pracują w różnych temperaturach i mają różną sprawność, na ogół zawiera się ona w granicach. 50-70%.

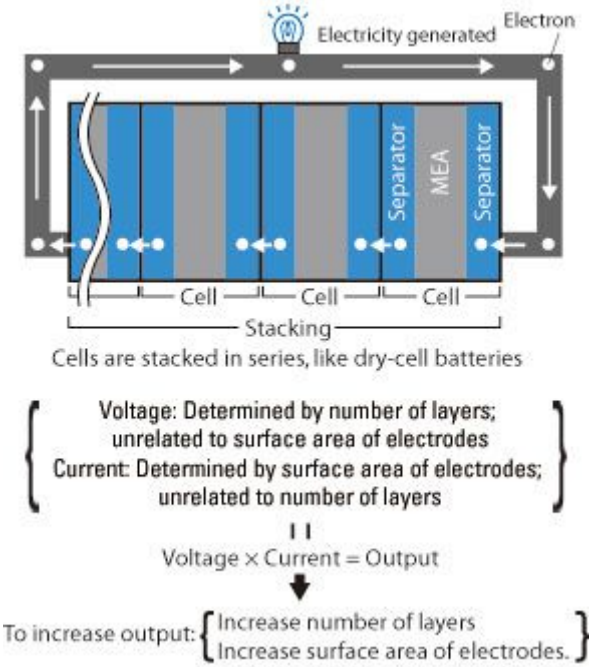
Ogniwa paliwowe z membraną protonową (Proton Exchange Membrane-PEM) są odpowiednie do takich zastosowań jak zasilanie pojazdów, gdzie wymagany jest szybki rozruch. Baterie wykonane w tej technologii pracują w niskiej temperaturze (ok. 100°C), generują prąd o dużym natężeniu, reagują elastycznie na zmieniające się warunki poboru mocy. Membrana jest wykonana z tworzywa organicznego, umożliwiającego przenikanie przezeń jonom wodoru. Z obu stron membrana pokryta jest cienką warstwą metalu (najczęściej jest to platyna), będącego katalizatorem. Jedna strona membrany (anoda) jest "zasilana" wodorem, gdzie następuje jego jonizacja. Uzyskane elektrony tworzą w obwodzie prąd elektryczny i mogą zostać wykorzystane na swojej drodze do "strony katodowej", zasilanej tlenem. Tymczasem protony dyfundują przez membranę do katody, gdzie łączą się z tlenem tworząc wodę.

Siła elektromotoryczna pojedynczego ogniwa wynosi około 1 wolta, a natężenie prądu elektrycznego w obwodzie zależy od powierzchni elektrod. Napięcie można zwiększać łącząc ze sobą szeregowo wiele takich ogniw - jak plastry wafli przekładanych nieprzepuszczalnymi dla elektrolitu, lecz przewodzącymi prąd elektryczny, membranami - zwiększając w ten sposób ich wydajność. Stos kilku niewielkich ogniw może dostarczyć moc paru watów, zaś wiele ogniw o powierzchni metra kwadratowego jest w stanie generować setki kilowatów (budowę stosu ogniw paliwowych rysunek nr 2).




*Rys.2 Budowa stosu ogniw paliwowych*

Szeregowe połączenie kilku ogniw przedstawia rysunek nr 3.




*Rys.3 Przykład szeregowego połączenia dowolnej liczby ogniw paliwowych*

Widok gotowych bloków (stosów) ogniw paliwowych przedstawia rysunek nr 4.

*Rys. 4 Stosy ogniw paliwowych o mocy 1, 5kW, 3kW i 6kW*

# Metody otrzymywania wodoru do ogniw paliwowych

Podstawowymi surowcami do wytwarzania wodoru są woda i niektóre rodzaje paliw naturalnych wraz z odpadami po ich przeróbce. Sposoby produkcji wodoru do zastosowań praktycznych można podzielić na chemiczne, elektrochemiczne i fizyczne.

Ze względu natomiast na wielkość produkcji i urządzenia wytwórcze opisuje się zazwyczaj oddzielenie na metody laboratoryjne i przemysłowe. Metodami laboratoryjnymi w niniejszym opracowaniu zajmować się nie będziemy, natomiast pokrótce omówione zostaną metody przemysłowe.

**Otrzymywanie wodoru na skalę przemysłową**

Od dawna otrzymuje się wodór w przemyśle metodą Boscha, w której przeprowadza się rozkład pary wodnej rozżarzonym koksem w temperaturze ok. 1200°C. W wyniku reakcji:

$$C+H_20=COH_2$$

tworzy się mieszanina wodoru z tlenkiem węgla, zwana „gazem wodnym".
Z kolei przerabia się gaz wodny zmieszany z dodatkową porcją pary wodnej na wodór w obecności katalizatora (tlenku żelazowego lub tlenku żelazowego z dodatkiem tlenku chromowego, $Fe_2O_3 + Cr_2O_3$). W reakcji:

$$CO + H_2 + H_2O = CO_2 + 2H_2O$$

określanej mianem „procesu konwersji" następuje w temperaturach 300-450°C utlenianie, CO do $CO_2$ przy równoczesnym tworzeniu się dalszych ilości wodoru. Dwutlenek węgla usuwa się z mieszaniny przez rozpuszczenie go w wodzie pod zwiększonym ciśnieniem 10—30 MPa. Resztki $CO_2$ pochłania się w roztworze wodorotlenku sodu lub w roztworach aminoalkoholi.

Opisana metoda jest wypierana przez metody wykorzystujące zamiast koksu gaz ziemny, ropę naftową lub pozostałości po jej przeróbce.

W wysokich temperaturach (wyższych niż 800°C) węglowodory można rozkładać na węgiel i wodór, jednakże równocześnie zachodzą także inne reakcje, w których tworzą się skomplikowane produkty. Dlatego w przemyśle przerabia się węglowodory, np. gaz ziemny zawierający zwykle ponad 95% metanu, przez zmieszanie z parą wodną. Otrzymaną mieszaninę przepuszcza się nad katalizatorem (nikiel osadzony na podłożu ceramicznym), znajdującym się w rurkach stalowych ogrzewanych z zewnątrz do temperatury ok. 500°C. Zachodzą wówczas kolejno reakcje:

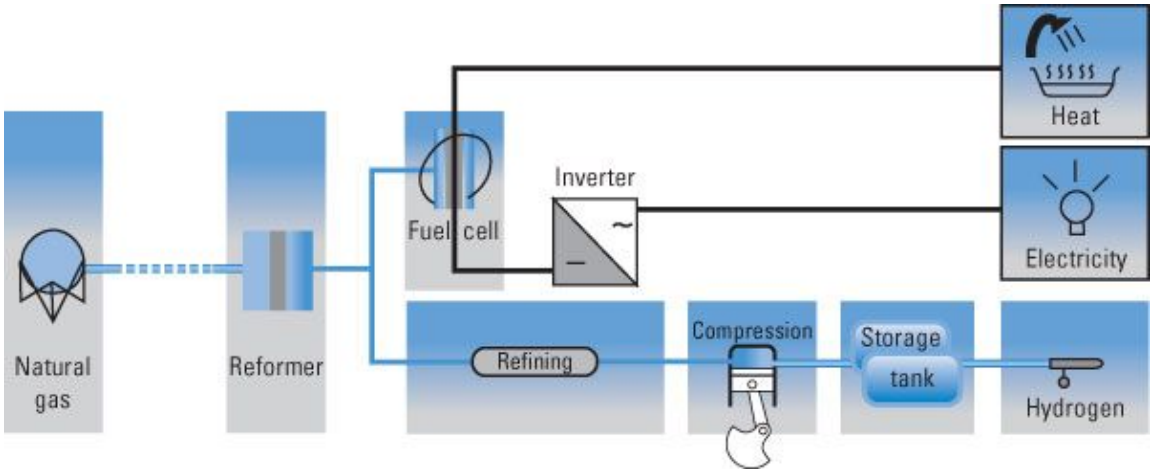
$$CH_4 + H_2O = CO + 3H_2$$

$$CO + H_2O = CO_2 + H_2$$

które po zsumowaniu wskazują, że produktami końcowymi są wodór i dwutlenek węgla:

$$CH_4 + 2H_2O = 4H_2 + CO_2$$

Dwutlenek węgla rozpuszcza się pod ciśnieniem w zimnej wodzie i jego resztki pochłania się w zasadach, analogicznie jak w poprzedniej metodzie. Ślady CO, które mogą znajdować się w mieszaninie produktów końcowych wskutek niepełnej jego konwersji z parą wodną, rozpuszcza się w amoniakalnym roztworze chlorku miedziawego. Otrzymuje się wodór o czystości 99,9%. Metoda ta jest przedstawiona na rysunku nr 5.

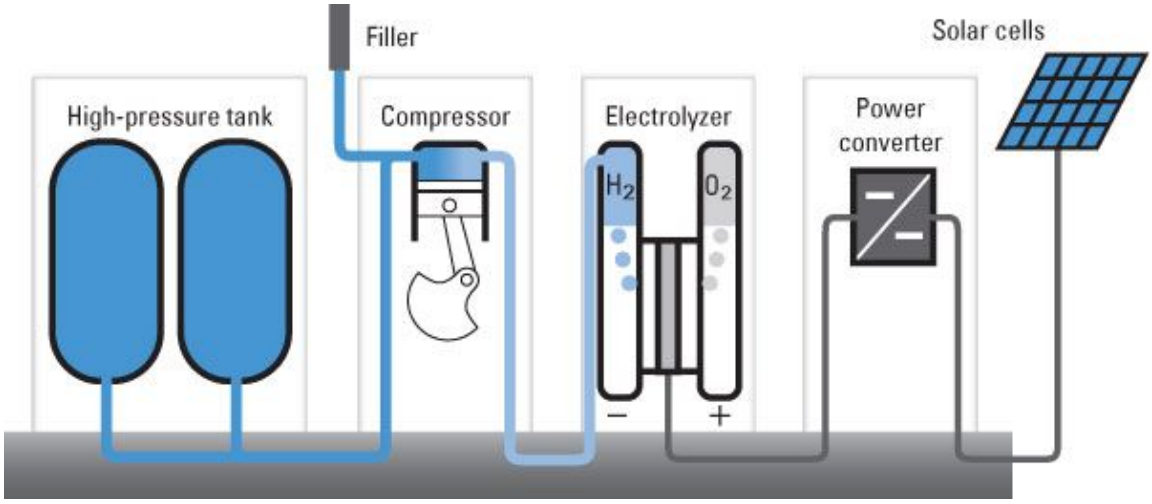



*Rys. 5 Otrzymywanie wodoru z gazu ziemnego*

Duże ilości wodoru produkuje przemysł petrochemiczny. Wodór tworzy się głównie w procesie reformingu prowadzonym w celu zwiększenia liczby oktanowej benzyny.

Obecnie prowadzone są już w szerokim zakresie badania nad rozkładem wody na wodór i tlen zarówno metodą wciąż doskonalonej elektrolizy, jak i przez bezpośrednie wykorzystanie ciepła wytwarzanego przez reaktory atomowe. Przewiduje się, że w niedalekiej już przyszłości poza energią jądrową będzie można wykorzystywać do rozkładu wody na pierwiastki energię słoneczną i jej pochodne, takie jak energia wiatru, energia fal itp. Praktycznie nieograniczone możliwości produkcji wodoru uzyska się po opanowaniu reakcji termojądrowych. Z dostępnej literatury wynika jednak, że badania nowych metod produkcji wodoru przebiegają w następujących kierunkach:

- zamiana energii słonecznej w fotoogniwach na prąd elektryczny, wykorzystany następnie do elektrolizy wody, ten sposób produkcji został wykorzystany przez specjalistów Hondy (rysunek nr 6),
- zamiana energii słonecznej w ogniwach słonecznych na prąd elektryczny, który przepływając przez powłoki wykonane z rodu, molibdenu, wolframu, a obecnie związki porfirynowe (zbliżone budową do chlorofilu) rozkłada wodę, nie elektrolitycznie, ale katalitycznie,
- zamiana energii słonecznej na ciepło (do 4000 K) w piecach słonecznych o mocy 1000 kW z lustrami parabolicznymi i wykorzystanie uzyskanego ciepła do termicznego rozkładu wody (termoliza wody 2500°C),
- metoda Hotelly, polegająca na gorącej elektrolizie pary wodnej w temperaturze 900°C,
- wykorzystanie bakterii do beztlenowego rozkładu biomasy;
- fotoredukcyjny rozkład wody enzymem hydrogenazą, występującą m.in. w glonie zielonej algi *(Chlamydomonas reinhardtii).*



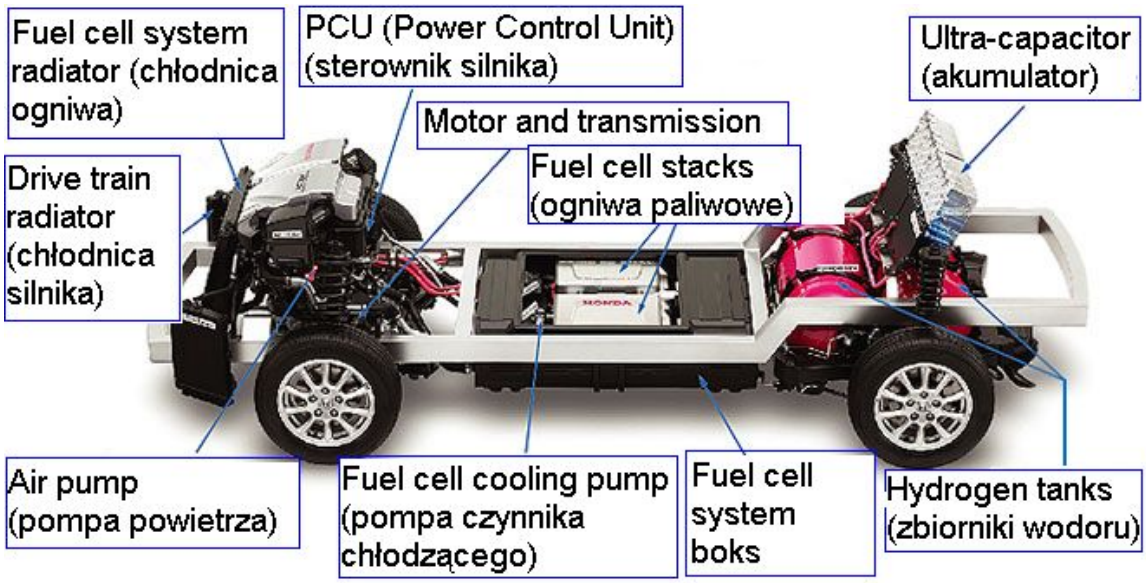

*Rys.6 Otrzymywanie wodoru przy pomocy ogniw słonecznych w procesie elektrolizy wody*

## Koncepcja napędu Hondy FCX

Honda FCX napędzana wodorem wykorzystująca ogniwa paliwowe zapewnia lepsze przyspieszenie niż hybrydy czy samochody elektryczne.

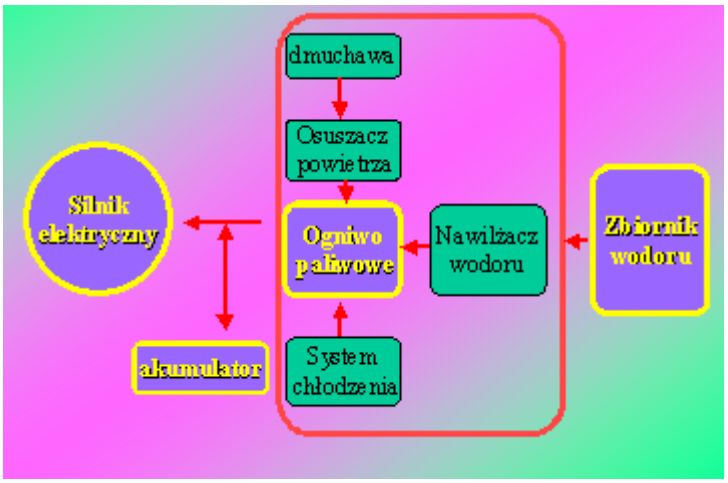
*Rys.7 Honda FCX*

W samochodzie tym ogniwo paliwowe z polimerową membraną separującą umieszczone zostało pod podłogą środkowej części nadwozia. Wodór ze zbiorników usytuowanych w pobliżu tylnej osi dopływa do niego przez nawilżacz niezbędny do utrzymywania stabilnego poziomu elektrolitu. Powietrze tłoczone jest przez mechaniczną dmuchawę sprzężoną z głównym silnikiem pojazdu, napędzającym jego przednią oś (rysunek nr 8).




*Rys. 8 Kompletny mechanizm napędowy Hondy FCX*

Ideowy schemat koncepcji napędu Hondy FCX przedstawia rysunek nr 9.




*Rys. 9 Koncepcja napędu FCX*

Maksymalna moc ogniwa paliwowego wynosi 86 kW, co byłoby w pełni wystarczające do sprawnego poruszania się samochodu i jego rozmaitych urządzeń dodatkowych, gdyby nie znaczna bezwładność pracy ogniwa paliwowego. Sprawia ona, że mocą silnika nie można sterować przez bieżące zmiany wydajności wodorowej wytwornicy prądu elektrycznego.

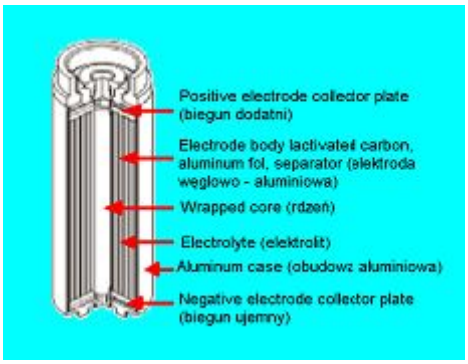
W czasie jazdy w normalnym ruchu drogowym powstają, więc na przemian okresowe nadwyżki i niedobory wytwarzanej energii. Poza tym samo ogniwo wymaga przy każdym rozruchu podgrzania do temperatury roboczej przy pomocy energii dostarczanej z zewnątrz.

Z tych właśnie względów w Hondzie FCX zastosowano dodatkowy akumulator, złożony z dużej ilości cylindrycznych ogniw weglowo-aluminiowych ( rysunek nr 10).

*a)*

*b)*

*c)*

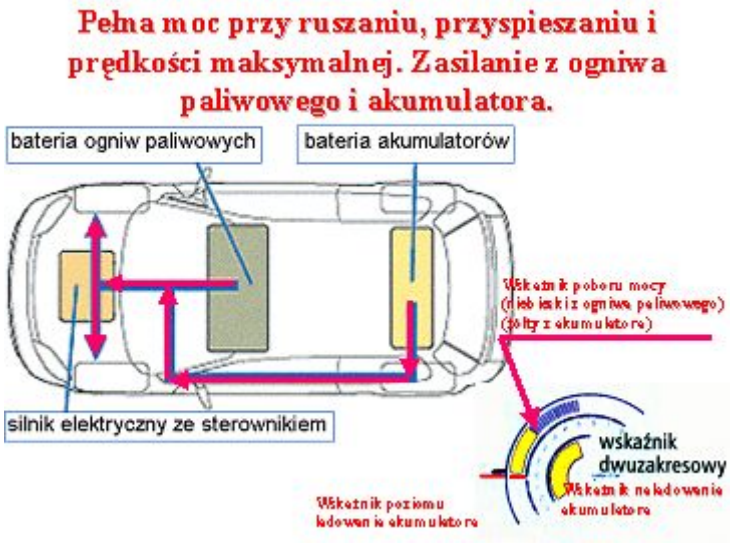


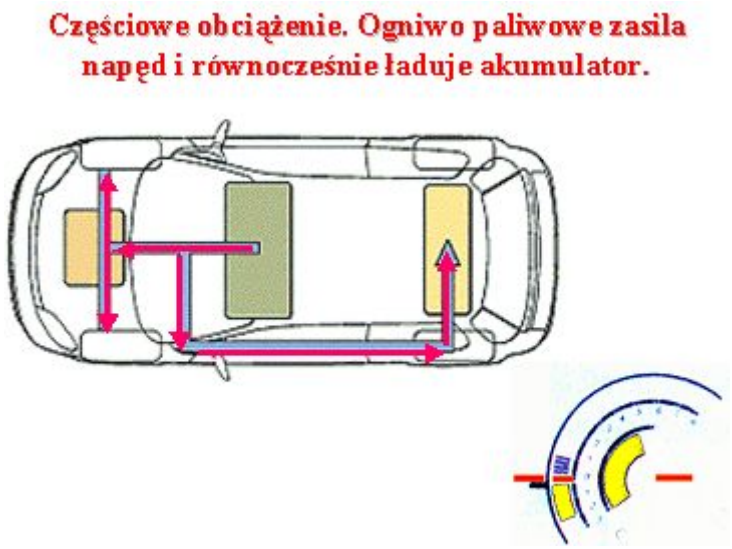

*Rys. 10 Dodatkowy akumulator Hondy FCX: a) widok ogólny, b) cylindryczne ogniwo, c) przekrój ogniwa*

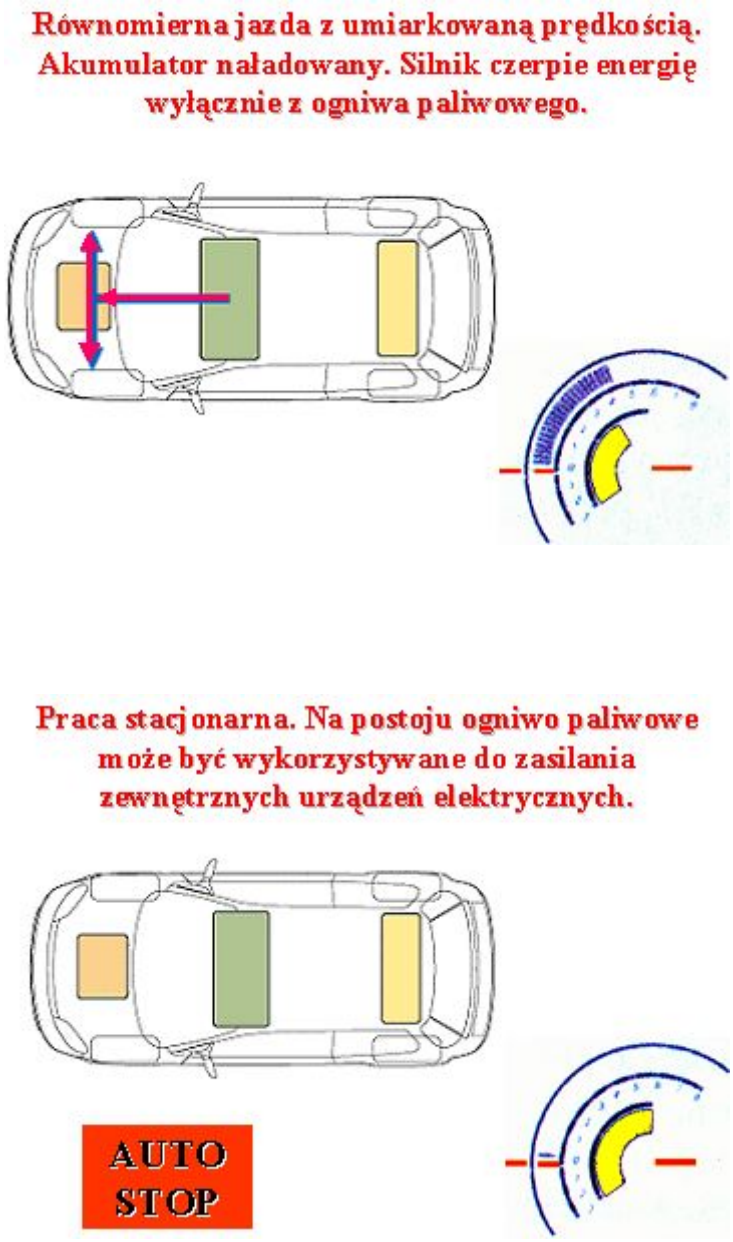
W pojeździe jest on umieszczony skośnie, bezpośrednio za oparciem tylnych siedzeń. Od akumulatorów kwasowych i zasadowych, stosowanych tradycyjnie w motoryzacji, różni się nie tylko znacznie wyższym stosunkiem pojemności do masy własnej i większymi wartościami pobieranego (lub dostarczanego) prądu, lecz także systemem elektronicznego sterowania parametrami elektrycznymi. Polega to na tym, że każde ogniwo, w którym napięcie zmienia się (na skutek obciążenia lub ładowania) w granicach 2,7-1,35V, jest podłączone oddzielnie do elektronicznego sterownika.

W zależności od aktualnych potrzeb i stanu zapasów energii elektrycznej sterownik może łączyć ogniwa szeregowo (dla uzyskania wyższego napięcia) lub równolegle (dla większych prądów poboru lub ładowania), a także wykorzystywać w rozmaitych kombinacjach połączeniowych tylko

dowolną liczbę ogniw. Zmniejsza to znacznie straty energii powodowane w tradycyjnych instalacjach akumulatorowych koniecznością utrzymywania standardowego napięcia w sieci. W systemie FCX każda porcja dodatkowej lub zaoszczędzonej energii jest magazynowana. Główny silnik pojazdu podczas hamowania wykorzystywany jest, jako prądnica zamieniająca energię kinetyczną pojazdu na prąd ładujący akumulator (rysunek nr 11). Maksymalna moc akumulatora dodatkowego w połączeniu ze wspomnianą już mocą ogniwa paliwowego daje w potrzebie maksymalny moment obrotowy ok. 27,7 kilogramometrów, pozwalające (mimo znacznej masy własnej elektrycznej Hondy, wynoszącej aż 1680 kg) rozwijać prędkość do 150 km/h i zachować dynamikę jazdy nie gorszą niż w spalinowych samochodach klasy 1,61.






*Rys.11. Gospodarka energetyczna w Hondzie FCX*

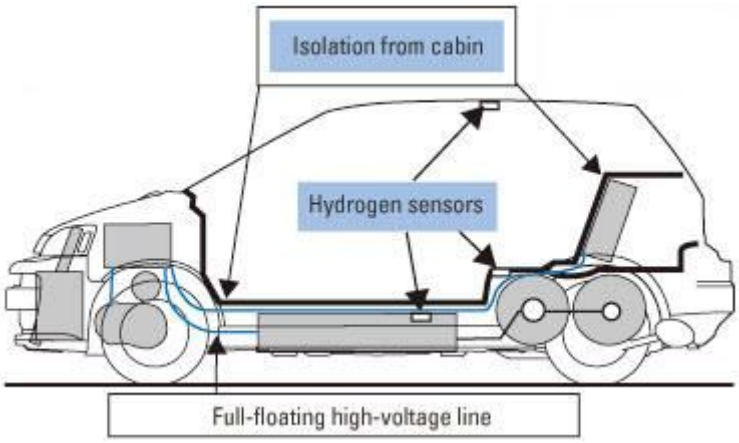
Dystans przejeżdżany między kolejnymi tankowaniami to, w najlepszym wypadku 430 km. W samym Los Angeles jazdę „na wodorze" umożliwia nowa sieć specjalnych stacji paliwowych. Uzupełnianie zbiorników gazem o ciśnieniu 350 atmosfer nie jest dzięki systemowym szybkozłączkom trudniejsze ani bardziej skomplikowane niż w pojazdach z instalacjami LPG (rysunek nr 12). Jednak o podróży z Kalifornii na Wschodnie Wybrzeże można w dającej się przewidzieć przyszłości jedynie pomarzyć.

*Rys.12 Tankowanie wodoru*

Kwestią drażliwą są znane wybuchowe właściwości wodoru. Oczywiście, trudno wyobrazić sobie eksploatację „wodorowych" pojazdów bez zaostrzonego technicznego dozoru placówkach. Nie da się też wykluczyć awarii i drogowych kolizji z wyciekami paliwa, które jest całkowicie niewidoczne i bezwonne. Jednak jak wykazały przeprowadzone doświadczenia (rysunek nr 13) pożar zbiornika z wodorem wydaje się być mniej groźny niż pożar zbiornika z benzyną.

*Rys.13 Symulacja pożaru zbiornika z paliwem: a) wodór, b) benzyna*

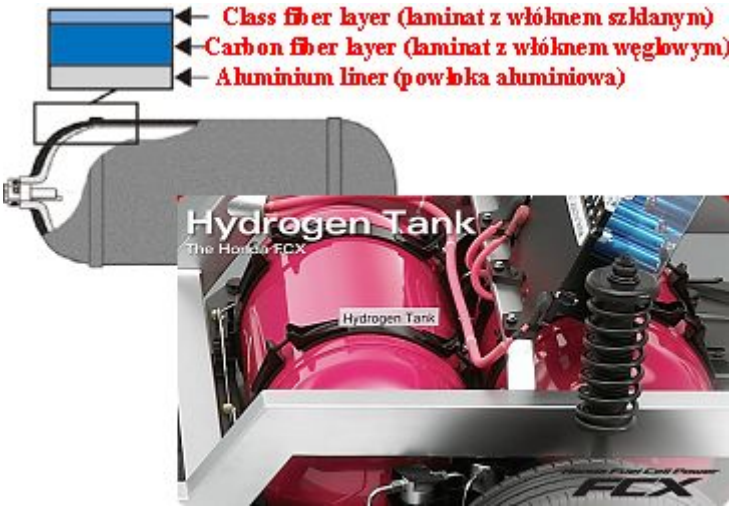
Z myślą o tego rodzaju zagrożeniach zastosowano w FCX samoczynny system bezpieczeństwa, wyposażony w czujniki zwiększonego stężenia wodoru umieszczone w pobliżu zbiorników i ogniwa paliwowego, a także w przedziale pasażerskim nadwozia (rysunek nr 14). Na sytuacje krytyczne system reaguje niezwłocznym odcięciem dopływu paliwa do uszkodzonych urządzeń i zapaleniem lampki ostrzegawczej na pulpicie kierowcy, któremu podobnie, jak i pasażerom, zalecić można po jej zapaleniu jedynie szybką ewakuację na bezpieczną odległość.




*Rys.14 Rozmieszczenie czujników wodoru*

Na okoliczność wypadków drogowych wprowadzono w omawianym modelu nie tylko bardzo wytrzymałą konstrukcję zbiorników (rysunek nr 15) i elektroniczne zabezpieczenia zamykające wszelki pobór gazu w momencie zderzenia, lecz także dodatkowe wzmocnienia szkieletu samonośnego nadwozia, chroniące szczególnie newralgiczne strefy.

W przypadku ogniwa paliwowego i jego osprzętu usztywnienie dotyczy płyty podłogowej pod przedziałem pasażerskim. Gorzej jest z masywną stalową klatką, zastosowaną do ochrony zbiorników, ponieważ z jej powodu tylna część nadwozia nie może już, jak w standardowych bezpiecznych konstrukcjach, amortyzować energii uderzeń.




*Rys.15 Konstrukcja zbiorników wodoru*

Crash-testy przeprowadzone dla zderzeń czołowych i bocznych nie wykazały natomiast zagrożeń części pasażerskiej, powodowanych przemieszczaniem się ciężkich elementów systemu napędowego.

## Podsumowanie

Juliusz Verne w swej powieści "Tajemnicza wyspa" przepowiadał, że źródłami energii na naszej planecie będą Słońce i wodór. Mimo upływu tak wielu lat przepowiednia ta nie spełniła się. W chwili obecnej wodór jest jednym z wielu alternatywnych źródeł energii. Być może jego zalety, jako paliwa oraz rozwój nowych technologii pozwolą na nazwanie XXI wieku erą wodoru.

Ogólne zalety nowego rodzaju napędu są oczywiste, a dodać też trzeba do nich wysoki komfort użytkowania, właściwy wszelkim pojazdom elektrycznym (niski poziom hałasu, sterowanie bez jakiegokolwiek systemu zmiany przełożeń, brak nieprzyjemnych zapachów paliwa i spalin). Trudno jednak nie zauważyć i wad nieodłącznie towarzyszących tym zaletom, jak również faktu, że nie dadzą się one szybko i łatwo usunąć.

Poważną wadą i czynnikiem ograniczającym rozwój tej nowoczesnej technologii jest nieubłagana ekonomia. Budowa konwencjonalnego pojazdu i konwencjonalnej elektrowni jest znacznie tańsza od obiektu z ogniwami paliwowymi. A bez zamówień na ogniwa paliwowe producenci nie mogą uruchomić ich masowej, a więc tańszej i zautomatyzowanej produkcji. Zainteresowane firmy szacują, że uruchomienie produkcji ogniw o łącznej mocy 200 MW rocznie pozwoliłoby obniżyć ich cenę detaliczną o połowę.

Warto sobie uświadomić, jak ogromnych środków wymaga usuwanie szkodliwych substancji ze spalin pojazdów samochodowych i w elektrowniach konwencjonalnych. Ogniwa paliwowe takich zanieczyszczeń nie wytwarzają w ogóle, a emisja tlenku węgla jest niższa od jego zawartości w powietrzu atmosferycznym. Może, więc inwestorom bardziej opłacałoby się inwestować w dopracowanie technologii i uruchomienie masowej produkcji ogniw paliwowych, aniżeli przeznaczać ogromne środki na dopracowywanie starych i opracowywanie wciąż nowych metod oczyszczania spalin.

## Bibliografia


1. Lewandowski W M.: **Proekologiczne źródła energii odnawialnej**, WNT, Warszawa, 2001
2. Chmielewski J.: **Ogniwa paliwowe**, „Młody Technik”, 1999, nr 10
3. Appleby J.: **Elektrochemiczne silniki samochodowe**, ·Świat Nauki, 1999, nr 9
4. **Honda z napędem FCX**, „Auto Expert” 2003, nr 4
5. **Paliwa gazowe – wodór**, „Auto Expert” 2005, nr 3
6. str. internetowa: http: // world.honda.com/FuelCell/
7. str. internetowa: www.fuelcells.org.
8. **Ogniwa paliwowe, – czyli wodoru do pełna,** „Magazyn Elektroniki Użytkowej” 2002, nr 5

# Spis treści

Wstęp ..... 1

Ogniwa paliwowe ..... 4

Metody otrzymywania wodoru do ogniw paliwowych ..... 7

Koncepcja napędu Hondy FCX ..... 11

Podsumowanie ..... 18

Bibliografia ..... 19