

Wykorzystanie niekonwencjonalnych technologii w zasilaniu nowoczesnych pojazdów

Konrad Zajkowski, Krystian Siwek, Wojciech Karpiński

Słowa kluczowe: Gaz Browna, HHO, silnik pneumatyczny, układ hybrydowy, silnik elektryczny.

Streszczenie

W artykule przedstawiono kilka technologii stosowanych do napędu pojazdów. Przybliżono alternatywne źródła zasilania mogące osiągnąć sukces w dziedzinie redukcji zanieczyszczeń, które wytwarzane są przez większość obecnych samochodów.

Wstęp

Wraz z postępem nauki, rozwojem technologii oraz rozwojem przemysłu, stan środowiska naturalnego pogarsza się. Zanieczyszczenia jakie powodują współczesne firmy oraz środki transportu przyczyniają się do powiększania dziury ozonowej. Wzrost liczebności firm produkcyjnych oraz pojazdów, nawet przy zastosowaniu czystszych technologii, powoduje pogorszenie stanu środowiska. Wraz z upływem czasu wystąpi w końcu deficyt konwencjonalnych źródeł paliwowych, lecz za nim to się stanie spowoduje on drastyczne wzrosty cen.

Rozwiązaniem tych problemów jest rozwój alternatywnych technik, które w finalnym stanie przyniosą korzyści materialne oraz mniejsze zanieczyszczenie atmosfery. Wysokie normy emisyjne wymuszają kierunki rozwoju przemysłu motoryzacyjnego. Napędy bazujące na czystych technologiach używają paliw innych niż benzyna czy olej napędowy. Przykładami takich rozwiązań są: ogniwa wodorowe, wykorzystanie gazu Browna, napędy na sprężone powietrze oraz napędy elektryczne.

1. Ogniwa paliwowe

Ogniwami paliwowymi (ang. fuelcell) nazywa się urządzenia elektrochemiczne wytwarzające energię użyteczną (elektryczność, ciepło) podczas reakcji chemicznej tlenu oraz wodoru. Ogniwo paliwowe zbudowane jest z dwóch elektrod: anody oraz katody (rys.1). Elektrody odseparowane są poprzez elektrolit występujący w formie płynnej lub jako ciało stałe. Wodór doprowadzany do anody rozbija się na elektrony oraz protony. Przepływ elektronów odbywa się przez zewnętrzny obwód do katody, natomiast protony swobodnie przedostają się z anody przez elektrolit do katody, gdzie jest doprowadzane powietrze. Wynikiem reakcji utleniacza, tlenu oraz wodoru, w tym procesie powstaje przepływ prądu, ciepło a także produkt uboczny: woda. Te reakcje elektrochemiczne opisują odpowiednie zależności:

Gazowy wodór wprowadzany jest w obszar porowatej anody, gdzie ulega utlenieniu (wtedy oddaje elektrony e^-), w wyniku czego powstają kationy wodorowe H^+ (protony):



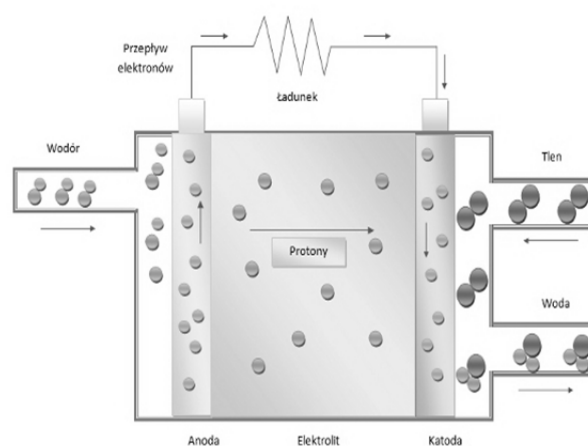
Na katodzie tlen reaguje z elektronami, redukując się do O^{2-}



Dyfuzja protonów od anody do katody odbywa się przez półprzepuszczalną membranę, która nie przepuszcza innych jonów, w tym anionów tlenkowych O^{2-} od katody do anody. Kationy wodorowe po dotarciu do przestrzeni katodowej reagują z anionami tlenkowymi dając wodę będącą w postaci pary lub ciekłej:



Procesowi temu towarzyszy wydzielanie się ciepła oraz energii elektrycznej.



Rys. 1. Schemat ogniwa paliwowego

Źródło: <http://www.mae.com.pl/odnawialne-zrodla-energii-ogniwa-paliwowe.html>

Do napędu samochodów wykorzystuje się ogniwa niskotemperaturowe. Pracują one w temperaturach poniżej 250 °C. Wysokotemperaturowe osiągają temperaturę około 600 °C.

Do pracy ogniwa niskotemperaturowych potrzebny jest czysty wodór. Natomiast nie potrzebują one zastosowania termoodpornych materiałów. Dzięki temu można je użyć w samochodach. Wpływa to także na bezpieczeństwo obsługi.

Istnieje szereg rodzajów ogniw paliwowych, np.:

- ogniwo paliwowe z membraną do wymiany protonów (ang. *Proton-exchange membrane fuel cell* – PEMFC),
- odwracalne ogniwo paliwowe (ang. *Reversible Fuel Cell* – RFC),
- bezpośrednie ogniwo metanolowe (ang. *Direct-methanol fuel cell* – DMFC),
- ogniwo paliwowe z zestalonym elektrolitem tlenkowym (ang. *Solid-oxide fuel cell* – SOFC),
- ogniwo paliwowe ze stopionym węglanem (ang. *Molten-carbonate fuel cell* – MCFC),
- ogniwo paliwowe z kwasem fosforowym (ang. *Phosphoric-acid fuel cell* – PAFC),
- alkaliczne ogniwo paliwowe (ang. *Alkaline fuel cell* – AFC).

Ogniwa paliwowe zastosowano między innymi w produktach koncernu Toyota Motor Corporation. Przykładem jest tutaj nowy model samochodu – Toyota Mirai – oparty o napęd FCV. W tym pojeździe pod podłogą znajdują się dwa zbiorniki na sprężony wodór. Dzięki temu samochód nie jest przeciążony a przestrzeń w przedziale pasażerskim oraz w bagażniku jest znacznie większa niż w aucie spalinowym tej wielkości z tego samego segmentu. Wynika z tego, iż zastosowanie ogniw paliwowych nie ma wpływu na ograniczenie wielkości pojazdu. Oznacza to możliwość stosowania ogniw również w vanach, półciężarówkach, samochodach terenowych, a nawet w samolotach. Toyota Mirai przy jednym pełnym tankowaniu (trwającym około 3 minuty) potrafi przejechać 482 km.



Rys. 2. Toyota Mirai

Źródło: http://moto.pl/MotoPL/1,88389,17138945,Toyota_Mirai___Ruszyła_sprzedaz_auta_na_wodor.html

Do zalet wodorowych ogniw paliwowych można zaliczyć:

- wysoka 65% sprawność (dla silnika diesla to ok. 35%),
- brak wibracji oraz hałasu podczas zachodzących reakcji, (żadnych ruchomych części związanych z jednostką zasilania),
- produkowana energia zasila bezpośrednio silnik elektryczny,
- brak spalania paliwa w czasie postoju oraz stały moment obrotowy,
- system odzysku energii podczas hamowania.
- dowolna i zajmująca mało miejsca lokalizacja w pojeździe,
- system modułowy: łatwa, szybka i ekonomiczna budowa,
- łatwość rozbudowy w miarę rosnących potrzeb.

Ogniwa te nie są pozbawione wad:

- przechowywanie wodoru w postaci ciekłej wymaga niskiej temperatury – 237 °C,

- wodór jest silnie reagującym pierwiastkiem w kontakcie z tlenem.
- drogie materiały na katalizatory.
- stosunkowo niewielkie moce uzyskiwane z modułu.

W Toyocie Mirai obawy przed nieszczelnością i wyciekami czynnika na zewnątrz rozwiązano w następujący sposób:

Wewnętrzna warstwę zbiornika (rys.3) zbudowano z tworzywa sztucznego. Gwarantuje to szczelność przez niedopuszczenie do dyfuzji maleńkich cząstek wodoru przez ścianki.

Środkową warstwę wykonano z kompozytu zbrojonego włóknem węglowym. Dzięki temu butla jest wytrzymała na ciśnienie wielokrotnie większe niż te, które panuje wewnątrz zbiornika, czyli 700 barów.

Zewnętrzna warstwę stworzono z kompozytu zbrojonego włóknem szklanym, który zabezpiecza zbiornik przed uszkodzeniami mechanicznymi (przetestowano również przypadek zderzenia z innym pojazdem, a nawet obstrzał z broni palnej na wytrzymałość butli).



Rys. 3. Zbiornik paliwa w Toyocie Mirai

Źródło: http://moto.pl/MotoPL/1,88389,17138945,Toyota_Mirai___Ruszyła_sprzedaz_auta_na_wodor.html

Zbiornik posiada oprócz wytrzymałych warstw, specjalny zawór. Jego zadaniem jest niedopuszczenie, aby wewnątrz powstało zbyt duże ciśnienie. Istnieją też czujniki, które potrafią odciać dopływ wodoru w trakcie wypadku, czy też uniemożliwić tankowanie paliwa w przypadku uszkodzenia zbiornika.



Rys. 4. Tankowanie wodoru

Źródło: http://moto.pl/MotoPL/1,88389,17138945,Toyota_Mirai___Ruszyła_sprzedaz_auta_na_wodor.html

Założeniem technologii wodorowych ogniw paliwowych jest całkowite zastąpienie tradycyjnego silnika spalinowego. Nie nastąpi to jednak od razu, lecz stopniowo. Samochody elektryczne z bateriami akumulatorów stanowią jedynie generację przejściową. W przyszłości, przy masowej produkcji, można spodziewać się obniżenia kosztów wytworzenia ogniw

paliwowych. Będą one znacznie mniejsze i wydajniejsze niż obecne. Skutkiem tego będzie przewaga tej technologii dla wszystkich pojazdów w różnych segmentach.

2. Gaz Browna - HHO

Gazem Browna nazywa się mieszaninę HHO, która jest dodatkiem do paliw zasilających silniki spalinowe. Można go otrzymać poprzez elektrolizę wody; dzięki temu uzyskuje się mieszaninę wodoru i tlenu w stosunku 2:1 objętościowo lub 1:8 wagowo. Źródłem pozyskiwania tego produktu jest woda, a dokładniej jej rozszczepienie na mono-atomowe cząstki wodoru i tlenu, w sposób bezpieczny - by nie nastąpił wybuch. Podczas procesu elektrolizy wody, na katodzie produkuje się wodór, na anodzie natomiast tlen. Gazy te przechwytywane są w tym samym czasie bez separacji, a powstała mieszanina tych gazów znana jest jako HHO. Otrzymany w ten sposób czynnik jest bezwonny oraz bezbarwny, przy czym jest on zupełnie nieszkodliwy dla zdrowia człowieka z powodu składu chemicznego i proporcji składników, który identyczny jest jak wody. Gaz ten przez swój skład, łatwo można nawiązać do pary wodnej, jest to jednak mylne twierdzenie.

HHO stanowi czwartą postać wody. Poza stanem stałym (lodem), ciekłym (wodą), gazowym (parą wodną) wyróżnia się także gaz Browna. Odkrycia tego dokonali William Rhodes oraz profesor Yull Brown.

Zjawisko to można uznać za rewolucyjne w zakresie instalacji samochodowych z powodu powstawania produktu spalania jakim jest para wodna. Emisje spalin są znacznie czystsze, dodatkowo wydzielają mniej zanieczyszczeń (redukcja CO₂),

co ma ogromne znaczenie przede wszystkim dla środowiska człowieka.

Niestety obecna wydajność tego typu rozwiązania jest dość niska. Do wygenerowania gazu HHO jest niezbędny prąd i woda. Wode można łatwo pozyskać, lecz dostępność prądu w pojeździe jest ograniczona i limitowana. Alternator samochodowy nie generuje wystarczającej ilości prądu do procesu elektrolizy na większą skalę. Aktualnie ilość produkowanego gazu okazuje się zbyt małą by pojazd mógł być zasilany tylko poprzez „wodę”. Rozwiązaniem tego może być ciągłe generowanie gazu i magazynowanie go w zbiorniku pod ciśnieniem, a także odpowiednie dozowanie HHO w trakcie jazdy w układzie hybrydowym z klasycznym paliwem.

3. Napęd pneumatyczny

Samochody o napędzie pneumatycznym są zasilane sprężonym powietrzem, czyli nie emitują żadnych zanieczyszczeń do atmosfery, ponieważ jedynym wydzielanym czynnikiem jest powietrze. Co więcej powietrze, które w trakcie kompresji przechodzi przez filtry, jest czystsze niż powietrze atmosferyczne. Zasada działania takiego urządzenia wykorzystuje różnicę ciśnień. Te zjawisko powoduje również powstawanie momentu obrotowego oraz mocy motoreduktorów pneumatycznych. Sprężone ciśnienie dostaje się do silnika łopatkowego. Ciśnienie większe przed łopatką i niższe za nią, wprowadza w ruch obrotowy wirnik. Różne ciśnienia powietrza powstają w skutek procesu rozprężania go pomiędzy łopatkami. Rozprężanie działa do czasu osiągnięcia przez łopatkę otworów wylotowych, natomiast ruch obrotowy wirnika wpływa na zachowanie się następnej łopatki.

Gwarancję skutecznego uszczelnienia otrzymuje się poprzez dociskane łopatki (pracującego silnika) do wewnętrznej powierzchni cylindra. Część powietrza dociska łopatkę, która powoduje docisk do cylindra.

Inną metodą odzysku energii w tym silniku jest wykorzystanie konwencjonalnej metody przeniesienia momentu przez układ korbowodów.



Rys. 4. Silnik pneumatyczny łopatkowy



Rys. 5. Układ korbowy jednego tłoka silnika pneumatycznego

Korbowód takiego silnika (rys.5) wyposażony został w zmodyfikowany sposób przeniesienia napędu. Dodatkowe łamanie korbowodu powoduje dłuższe zatrzymanie tłoka w pozycji górnej. Odpowiada to fazie "wtrysku" sprężonego powietrza. Operacja ta umożliwia wydłużenie fazy, w której następuje zwiększenie ciśnienia powietrza w komorze cylindra.



Rys. 6. Auto Family

Źródło: http://darmowa-energia.eko.org.pl/pliki/ekoauto/spr_pow.html

Produkcją pojazdów z napędem pneumatycznym zajęła się między innymi Francja, która jako pierwsza stworzyła prototyp. Pojazd, który został nazwany Family ma bardzo satysfakcjonujące osiągi. Auto ma ładowność 0,5 tony, miejsca dla 6 osób i potrafi uzyskać maksymalną prędkość do 110 km/h. Dystans jaki można pokonać waha się w granicach od 200 do 300 km. Przewidywany czas ładowania za pomocą kompresora elektrycznego to 4 godziny, jednak istnieje również możliwość "tankowania" takiego auta sprężonym powietrzem w zaledwie 3 minuty. Osiągi, które uzyskuje Family wiążą się ze specjalną

konstrukcją silnika, która zapewnia wysoką sprawność oraz małą wadliwość. Komfort "klimatyzacji" można zapewnić sobie poprzez to samo powietrze, które napędziło auto. Powietrze to można użyć również do obniżenia temperatury wewnątrz pojazdu. Dzięki podwójnej funkcji silnika: napędu i kompresji, samochód może samoczynnie odzyskiwać część energii przez hamowanie silnikiem. Licencja na tego typu samochód zakupiona została przez hiszpańskie i hinduskie fabryki.

Takiego typu auta mogą się świetnie sprawdzać jako pojazdy miejskie, np. taksówki - ponieważ nie zanieczyszczają i nie niszczą środowiska naturalnego. Energia do zasilania jest znacznie tańsza niż konwencjonalne źródła paliw, więc korzyści odnoszą wszystkie strony. Taki układ napędowy cieszyć się będzie większą niezawodnością, cichszą pracą i dłuższą żywotnością w porównaniu do konwencjonalnych napędów. Zaletą jest również płynna, bezstopniowa regulacja prędkości i zmiana kierunku ruchu. Wadami jest: wysoki koszt zakupu pierwszych modeli, konieczność posiadania specjalnego kompresora oraz brak stacji umożliwiających napełnienie w trakcie dalszej podróży (pojedyncze stacje na terenie Francji).

4. Pojazd elektryczny

Pojazd elektryczny, rozumiany jako pojazd z napędem elektrycznym i baterią akumulatorów, jest najbliższym osiągalnym technologicznie w porównaniu do omówionych wcześniej rozwiązań. Takie pojazdy mają zerową emisję zanieczyszczeń do atmosfery oraz wysoką sprawność. Sprawność takiego silnika według symulacji teoretycznych jest porównywalna ze sprawnością silnika diesla (około 40%). "Elektryki" są już dziś alternatywą przy zakupie pojazdu. Jednym z przykładów jest auto Tesla. Wiele osób błędnie zakłada, że taki pojazd nie posiada przyspieszenia jak sportowe auta lub nie prezentuje się korzystnie. Nic bardziej mylnego auto firmy Tesla mają agresywny sportowy wygląd i przy tym osiągają duże prędkości. Przykładowo model z 2015 roku Tesla S P85D 772PS ma napęd stały 4x4, moc 772 KM oraz przyspieszenie do 100 km/h w zaledwie 3 sekundy. Na jednym ładowaniu samochód jest w stanie przejechać 270 km przy prędkości nie przekraczającej 85 km/h. Na jednej ze stacji szybkiego ładowania ten proces według producenta ma trwać 30 minut. Pojazd taki można naładować również na zwykłej stacji ładowania aut elektrycznych, lecz liczyć się trzeba na długi postój. Obecnie Tesle posiadają innowacyjny tryb autopilota, który potrafi sam kierować pojazdem. Sam dostosowuje prędkość oraz dostrzega zagrożenie. Auto oprócz nowoczesnych technik jest bardzo pakowne. Posiada 2 bagażniki: z przodu i tyłu. W środku auto jest bardzo przestrzenne oraz wygodne.



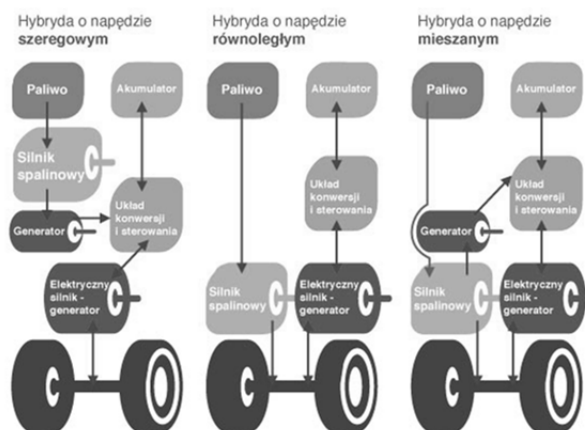
Rys. 7. Tesla S P85D 772PS

Źródło: <http://ecomento.tv/modelle/tesla-model-s/>

Pojazdy elektryczne najczęściej spotkać można pracujące w układzie hybrydowym. Napęd taki polega na wykorzystaniu

dwóch różnych silników. Kierowca posiadający taką instalację pracującą w trybie mieszanym (możliwy układ pracy szeregowy jak i równoległy) może odnieść spore oszczędności. Korzystanie nierównomierne z jednego z silników jest nieopłacalne. W przypadku gdy kierowca będzie poruszał się autostradą, gdzie częste użycie hamulca jest niekonieczne, nie będzie odzyskiwał energii. Wtedy silnik elektryczny, akumulator oraz generator stanowią zbędny ciężar zwiększający zużycie tradycyjnego paliwa. Jednak gdy pojazd porusza się w mieście, gdzie następują częste hamowania, pozwala na odzyskanie energii kinematycznej ruchu oraz wykorzystanie mocy silnika spalinowego.

W układach hybrydowych, można wyróżnić trzy rozwiązania: hybryda o napędzie szeregowym, hybryda o napędzie równoległym, oraz wspomniany układ mieszany (rys. 8). W napędzie szeregowym auto napędzane jest przez silnik elektryczny, gdzie silnik spalinowy służy do ładowania akumulatorów. Akumulator i silnik w tym układzie pozwala na sterowanie mocą napędu samochodu. W takim układzie głównym celem jest optymalizacja pracy silnika spalinowego poprzez zmniejszenie zużycia paliwa. Układ równoległy pozwala na zwiększenie osiągnięć samochodów. Ten układ pozwala na załączenie dwóch silników, dzięki czemu uzyskuje się większą moc auta, która może zostać użyta na przykład przy wyprzedaniu.



Rys. 8. Układ Hybrydowy



Rys. 9. BMW i8

Źródło: <http://www.bmw.pl/all-models/bmw-i8/2014/at-a-glance.html>

Przykładowym pojazdem hybrydowym jest BMW i8. Jest to auto posiadające sportowy i nowoczesny wygląd. Pojazd ten patrząc od przedniej części jest coraz szerszy nadając mu nietypowy wygląd. BMW z przodu ma 2 wydatne szczęki, które zachodzą na niski, bardzo agresywny i zaznaczony niebieskimi

kolorami przód. Auto powoduje ogromne zainteresowanie oraz skupia uwagę innych przechodniów oraz kierowców. Suma koni mechanicznych takiego auta to 362 KM (suma silnika spalinowego zamontowanego z tyłu, oraz silnika elektrycznego zamontowanego z przodu). Taka moc pozwala rozpędzać się do 100 km/h w czasie 4,4 sekundy i osiągać prędkość 250 km/h.

Wnioski

Uzależnienie ekonomiki światowej od cen ropy i gazu jest zauważalne od początków użytkowania pojazdów, wykorzystujących te paliwa. Transport w ujęciu globalnym ma zatem wielki wpływ na sytuację międzynarodową i to nie tylko poprzez paliwa, lecz również poprzez powiązania firm produkcyjnych. W tym ujęciu można zrozumieć opieszałość przemysłu motoryzacyjnego przy przenoszeniu technologii na nowocześniejsze.

Należy również pamiętać o infrastrukturze wspomagającej dystrybucję paliw, zmianę organizacji serwisu i innych komórek przemysłu współpracujących z motoryzacyjnym. Sukces zmiany technologicznej jest już dziś dostępny, lecz wysiłek tej transformacji leży w wielu dziedzinach gospodarki. Czas jaki należy temu poświęcić zależy od wielu zewnętrznych czynników (np. ceny paliw), jednak odpowiedni kurs został już obrany i raczej nie ma szans na wycofanie się z tej drogi. Firmom z branży pozostaje albo uczestniczenie w tej transformacji albo przyglądanie się sytuacji i trwanie na rynku zbytu.

Bibliografia

1. Skrzyniowski A.: *Gaz Browna – HHO jako dodatek do paliw zasilających silniki spalinowe*, Mechanika, Technical Transactions. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, zeszyt 10, rok 109, Kraków, 5-M, 2012.
2. Zajkowski K., Duer S., Sokolowski S.: *Laboratorium z podstaw elektrotechniki i elektroniki*. Politechnika Koszalińska, Koszalin, 2013.
3. Łyskojć D., Kopeć Z., Duer S., Zajkowski K.: *Analiza możliwości wykorzystania silników elektrycznych w napędach pojazdów samochodowych*. IEP Politechniki Poznańskiej, Poznań, 2010, s. 251-252.
4. Zajkowski K., Duer S., Łyskojć D.: *Sposoby regulacji prędkości obrotowej silnika w pojeździe z napędem elektrycznym*. AUTOBUSY Nr 5/2012, s. 537-543.
5. Łyskojć D., Duer S., Zajkowski K., Sokolowski S.: *Ekologiczne napędy pojazdów z układami odzysku energii*. AUTOBUSY Nr 5/2012, s. 279-283.
6. Długosz J., Michalski M.: *Ogniwa paliwowe i produkcja wodoru*, *Laboratorium*. http://fluid.itcmp.pwr.wroc.pl/~hkruczek/KE/pliki/instrukcja_Nexa.pdf (dostęp: 11.04.2016).
7. Witkowski S.: *Samochody napędzane wodorem, jak to działa* <http://autokult.pl/11543,samochody-napedzane-wodorem-jak-to-dziala> (dostęp: 11.04.2016)
9. Ogniwa paliwowe, <http://www.mae.com.pl/odnawialne-zrodla-energii-ogniwa-paliwowe.html> (dostęp: 11.04.2016).
10. Motoregion.pl: *Generator wodoru HHO w samochodzie* <http://motoregion.pl/generator-hho-gazu-browna.html>, (dostęp: 11.04.2016).

Autorzy:

Dr inż. Konrad Zajkowski – Politechnika Koszalińska, Zakład Zastosowań Elektroniki i Elektrotechniki.

Krzysztof Siwek – student 2 roku Energetyki w Politechnice Koszalińskiej.

Wojciech Karpiński – student 2 roku Energetyki w Politechnice Koszalińskiej.

Key words: Brown's gas, HHO, pneumatic motor, a hybrid system, the electric motor.

Usage of unconventional technology of power in modern vehicles

The article presents several technologies used to power vehicles. An alternative power source that can achieve success in the reduction of pollution, which are produced by most of today's cars has been presented.
