

Krzysztof POLAKOWSKI

## SAMOCZODY ELEKTRYCZNE POJAZDAMI NAJBLIŻSZEJ PRZYSZŁOŚCI?

**STRESZCZENIE**      *Rozwój transportu samochodowego jest obecnie poddawany licznym ograniczeniom związanym osiągalnością wyczerpujących się źródeł paliw płynnych oraz związanym z tym wzrostem ich cen. Ponadto ograniczenia związane z emisją spalin skłaniają do szybkiej zamiany napędów z silnikami wewnętrznego spalania zasilanych produktami ropopochodnymi na samochody elektryczne w najbliższej przyszłości. W tym opracowaniu zwięźle opisano za i przeciw w zastosowaniach wybranych elektrochemicznych układów zasilania energią elektryczną pojazdów (hybrydowych i elektrycznych), (głównie akumulatorów i ogniw paliwowych) pod kątem wymagań energetycznych współczesnych pojazdów.*

**Słowa kluczowe:** *samochody hybrydowe i elektryczne, elektrochemiczne źródła energii w pojazdach.*

### 1. WPROWADZENIE

---

Dwa poważne problemy: energetyczny związany z wyczerpywaniem się stosowanych dotychczas źródeł energii oraz ekologiczny (efekt cieplarniany) spowodowany narastającym zanieczyszczeniem środowiska głównie produktami spalania paliw wymuszają poszukiwanie nowych rozwiązań w obszarze nowych rozwiązań napędów pojazdów samochodowych.

---

**dr inż. Krzysztof POLAKOWSKI**

e-mail: kp@zkue.ime.pw.edu.pl

Politechnika Warszawska

PRACE INSTYTUTU ELEKTROTECHNIKI, zeszyt 252, 2011

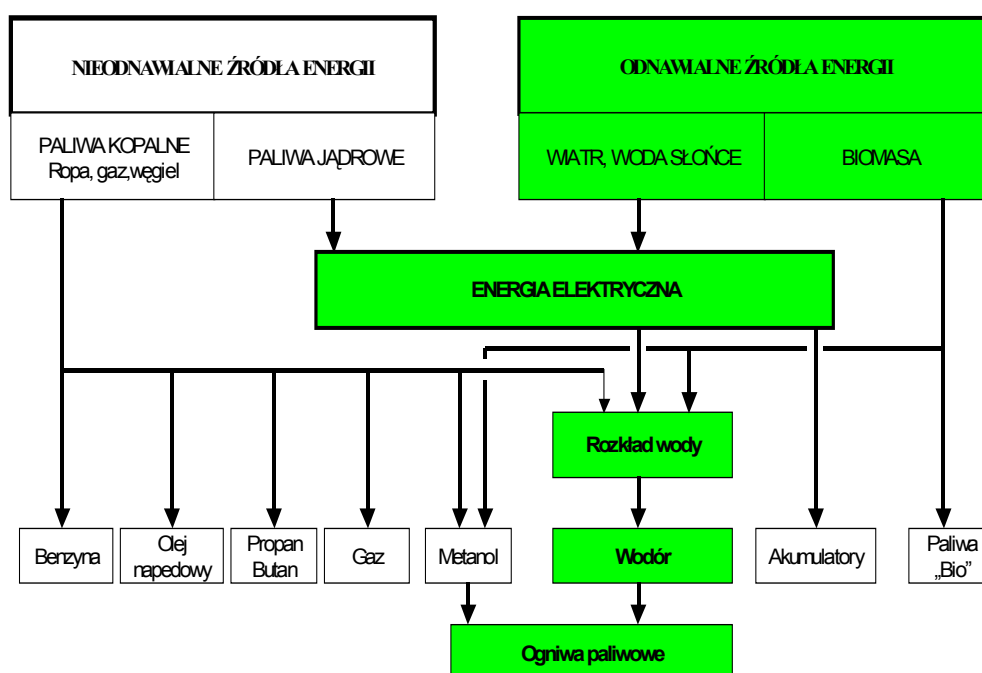
Doraźnie problemy te można minimalizować poprzez: doskonalenie konstrukcji silników spalinowych w kierunku drastycznego zredukowania ich jednostkowego zużycia paliwa, wprowadzenia paliw o bardzo niskiej zawartości węgla lub nie zawierających go (jak. np. wodór) [1] oraz zastosowanie napędowych układów hybrydowych spalinowo – elektrycznych. Samochód o napędzie elektrycznym powinien być pełnym rozwiązaniem tych problemów.

Samochody elektryczne, obok parowych i z silnikami pneumatycznymi były jednymi z pierwszych pojazdów wykorzystywanych do przemieszczania się ludzi. Pomiędzy 1832 a 1839, szkocki biznesmen Robert Anderson wymyślił pierwszy prymitywny powóz elektryczny. Profesor Sibrandus Stratingh Groningen, Holandia, zaprojektował elektryczny samochód, którego model w skali wykonał jego asystent Christopher Becker w 1835. Ulepszaniem akumulatorów zajęli się Francuzi Gaston Plante w 1865 i Kamil Faure w 1881. Utorowali oni drogę dla rozwoju pojazdów elektrycznych. Francja i Wielka Brytania były pierwszymi narodami, które popierały powszechny rozwój pojazdów elektrycznych. Do 1900 r., przed wielkim rozkwitem silników spalinowych zanieczyszczających środowisko, pojazdy elektryczne biły wiele rekordów prędkości i długości przebytych tras. Jednym z najbardziej godnych uwagi wydarzeń tamtych czasów było przekroczenie bariery prędkości 100 km/h przez Camille Jenatton 29 kwietnia 1899, który na pojeździe elektrycznym La Jamais Contente („Wiecznie niezadowolona”), napędzanym przez dwa elektryczne silniki o łącznej mocy 100 KM, osiągnął maksymalną szybkość 105,9 km/h. Dlaczego więc auta elektryczne nie wyparły spalinowych? Ówczesna wiedza w dziedzinie elektrotechniki była niewystarczająca, a w zakresie elektrochemii nie pozwalała skonstruować wydajnych akumulatorów o: dużej gęstości energii, odpowiedniej energii właściwej, wystarczającej żywotności i niewielkiej cenie. Obecny stan wiedzy elektrotechnicznej powoduje, że samochody elektryczne (abstrahując od pojazdów hybrydowych elektryczno spalinowych, które są na rynku już od 1997 r.) stały się konkurencyjne i ponownie szybko wchodzi do produkcji. Jak podają w Automotive Engineering [11] z października 2009 amerykańskie i niemieckie uniwersytety techniczne w szybkim tempie wprowadzają Elektrotechnikę samochodową w swoich programach studiów, bo brakuje fachowców z tej dziedziny w przemyśle samochodowym i w jego zapleczu [11]. Unia Europejska w ramach tzw. Planu Barroso ma zamiar zainwestować w latach 2010–2013 na budżety badawcze w tzw. Green car: 1,0 mld euro. Szacuje się, że już w 2012 roku na świecie sprzedawanych będzie ogółem 5,6 mln samochodów elektrycznych, co oznacza 10% wzrost ich udziału w globalnej sprzedaży. Powstaje zatem szansa na szybki rozwój elektrotechniki samochodowej oraz na ciekawą, dobrze płatną i pewną pracę w dziedzinie, która będzie dynamicznie w najbliższym czasie rozwijana, bo takie są oczekiwania społeczne na świecie.

## 2. ŹRÓDŁA ENERGII W TECHNICIE MOTORYZACYJNEJ

Ropa naftowa jest obecnie głównym nieodnawialnym i nieekologicznym nośnikiem energii w technice motoryzacyjnej. Szacuje się, że zidentyfikowanych i prawdopodobnych złóż ropy jest około 245 mld ton (dotychczas zużyto około 1/5 tych zasobów). Roczny wzrost zużycia ropy w skali Ziemi wynosił ostatnio średnio 6,5%. Przy założeniu tego wzrostu tylko o 3% zasoby ropy wyczerpać się mogą do końca najbliższego stulecia. Podobna sytuacja może wystąpić w przypadku pozyskiwanego ze złóż opłacalnych gazu ziemnego [2].

Niezbędna do ładowania akumulatorów samochodowych energia elektryczna nie jest pierwotną formą energii i do jej wytwarzania obecnie wykorzystywane są głównie nieekologiczne kopalne nieodnawialne nośniki źródeł energii cieplnej. Aby ten stan zmienić coraz większy udział w jej wytwarzaniu będą miały zoptymalizowane technologie wykorzystujące niezagrażające szybkim wyczerpaniem i zanieczyszczaniem środowiska źródła odnawialne, jak energia słoneczna, energia uzyskiwana na drodze kontrolowanej w warunkach ziemskich syntezy jądrowej czy też energia elektryczna uzyskiwana na drodze reakcji elektrochemicznych w ogniwach, a w szczególności w wysoko wydajnych ogniwach paliwowych.



Rys. 1. Źródła energii w pojazdach samochodowych – stan obecny i przewidywany [3]

Wykorzystanie odnawialnych źródeł musi być intensyfikowane w najbliższej przyszłości. Obecnie głównym znanym „czystymi” pod względem ekologicznym źródłem energii jest energia elektryczna wytwarzana w elektrowniach słonecznych (ogniwa fotowoltaiczne i generatory napędzane silnikami Stirlinga), wodnych lub wiatrowych.

Innym przyszłościowym nośnikiem energii może być wodór. Cechą charakterystyczną wodoru, jako nośnika energii jest jego uniwersalność. Może być stosowany na potrzeby transportu lądowego i powietrznego (podobnie jak gaz lub benzyna) w silnikach wewnętrznego spalania a także, jako paliwo w ogniwach paliwowych do bezpośredniego wytwarzania w procesach elektrochemicznych energii elektrycznej. Ponadto może być wykorzystywany do wytwarzania syntetycznych węglowodorów (ciekłych i gazowych) w wyniku odpowiedniego przetwarzania paliw kopalnych.

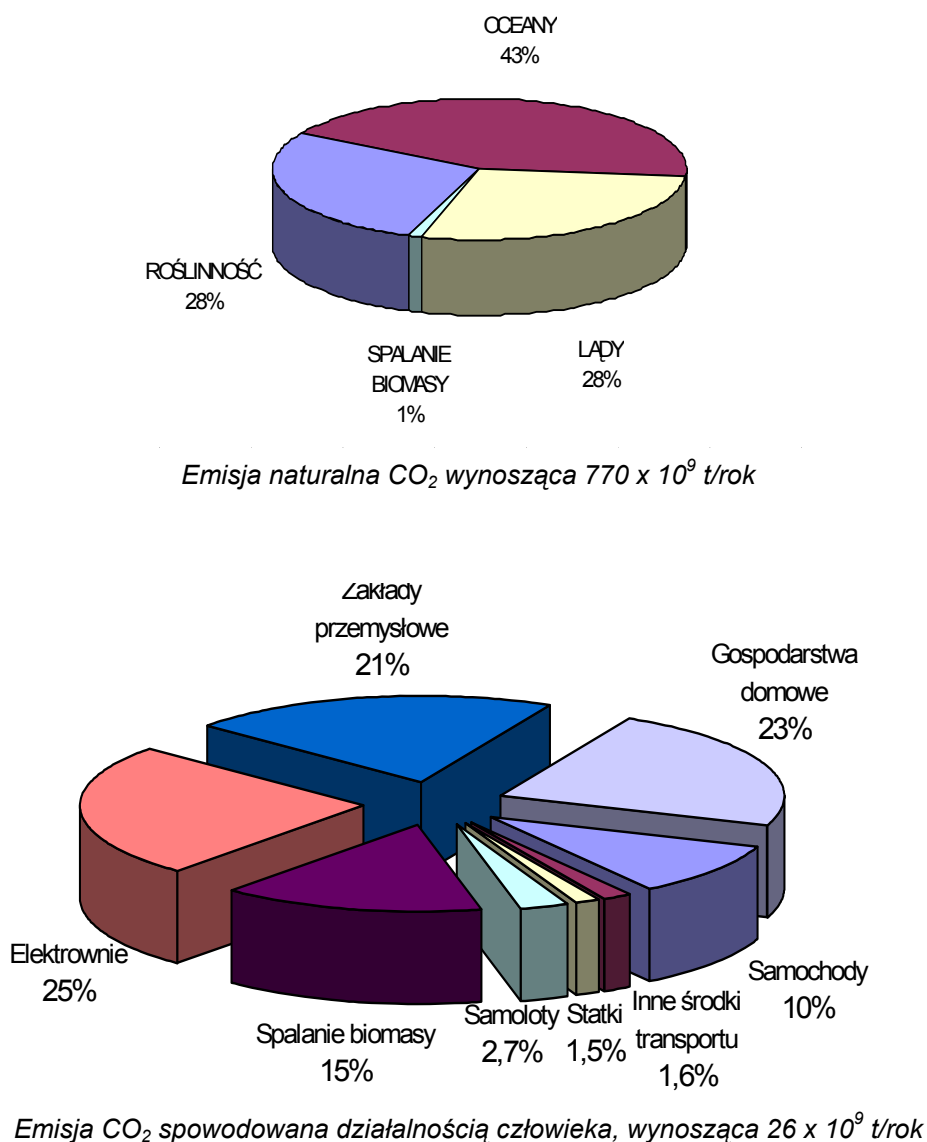
### 3. POJAZDY SAMOCHODOWE A PROBLEMY EKOLOGICZNE

---

Sprawność silników spalinowych (w stosunku do zawartości energetycznej zużywanego paliwa) w najlepszym przypadku nie przekracza 35%. Dla porównania sprawność silnika elektrycznego jest średnio dwa razy większa i wynosi około 70 – 90%. Szacunkowo już w silniku spalinowym 65 – 90% energii jest bezpowrotnie tracone. Tylko 10 – 16% dostarczonej w paliwie energii wykorzystywana jest bezpośrednio do wytwarzania momentu obrotowego na kołach, z czego ponad połowa tracona jest na ogrzewanie opon, nawierzchni i powietrza w procesach pokonywania oporów. W cyklu miejskim (zgodnie z amerykańskim Federal Urban Driving Cycle) 41,8% energii użytecznej silnika wykorzystywana jest podczas przyśpieszania, 21,2% na przewyciężenie oporu toczenia a 16,3% dla przewyciężenia oporu aerodynamicznego [4]. Ponieważ 95% podlegającej przyspieszeniu masy stanowi sam pojazd, to na wykonanie użytecznego zadania, jakim jest przemieszczanie kierowcy zużywane jest mniej niż 1% energii zawartej w paliwie. Około 20% energii rozpraszana jest bezpowrotnie przy hamowaniu samochodu i na biegu jałowym podczas postoju. Tą część traconej energii można w przypadku napędu elektrycznego zminimalizować poprzez wyłączenie silnika w czasie postoju a także w dużym stopniu odzyskać w procesach rekuperacyjnych podczas zwalniania i hamowania pojazdu silnikiem elektrycznym.

W okresie całego przebiegu samochodu (około 240 tys. km) należy uwzględnić wpływ gazów cieplarnianych powstałych w procesie wytwarzania

energii zużytej na: wytworzenie i dystrybucję paliwa (faza „od szybu do baku” to 15% energii zużytej w całym procesie produkcji i eksploatacji paliwa i pojazdu), użytkowanie (faza „od baku do kół” to 75% tej energii) oraz produkcję i konserwację pojazdu, złomowanie i utylizację (faza „od kołyski do końca” to 10% tej energii).



**Rys. 2. Procentowy diagram naturalnej i spowodowanej działalnością człowieka emisji dwutlenku węgla CO<sub>2</sub> do atmosfery w skali globalnej**

Pojazdy z silnikami spalinowymi są powszechnie uznawane za istotnych trucicieli atmosfery poprzez emisję niedopalonych węglowodorów (HC), tlenków azotu (NO<sub>x</sub>), tlenku węgla (CO) i głównie ditlenku węgla (CO<sub>2</sub>). Z taką opinią

zgodzić się można tylko w wypadku wielkich aglomeracji miejskich, charakteryzujących się dużym skupieniem ruchu samochodowego na stosunkowo małej powierzchni. Podchodząc do zagadnienia globalnie można stwierdzić, że udział samochodów i wszystkich pozostałych środków transportu w emisji do atmosfery dwutlenku węgla nie przekracza 15% emisji powodowanej ogólnie przez człowieka (szacowanej na około  $26 \times 10^9$  tony na rok) oraz 5<sup>0</sup>/<sub>100</sub> całkowitej naturalnej produkcji CO<sub>2</sub> (szacowanej na około  $770 \times 10^9$  tony na rok) [5].

Ze względu na zwiększone stężenie szkodliwych emisji w obszarach o dużym ruchu samochodowym oraz konieczności redukcji efektu cieplarnianego w skali całej Ziemi od połowy lat siedemdziesiątych wysiłki przemysłu motoryzacyjnego (poprzez wprowadzenie kategorii pojazdów o niskiej emisji zanieczyszczeń LEV (Low Emission Vehicles) oraz o bardzo niskiej emisji zanieczyszczeń ULEV (Ultra Low Emission Vehicles) i decyzje prawodawców (głównie w normach europejskich CEE, USA i japońskich) przyczyniły się przez ostatnie 25 lat do znacznego obniżenia zanieczyszczających substancji w spalinach. Zgodnie z normami europejskimi od roku 1970 do 2000 dopuszczalna emisja CO została zmniejszona o 95% (do 2,3 g/km) a HC+ NO<sub>x</sub> o 98% (do 0,2 g/km). Europejskie wymogi powinny ponadto spowodować zredukowanie emisji przez samochody dwutlenku węgla CO<sub>2</sub> z 190 g/km w roku 1995 do 95 g/km po roku 2010 [5].

## 4. POJAZDY HYBRYDOWE

---

Jedynie samochód elektryczny ma praktycznie zerowy lokalny udział w zanieczyszczaniu atmosfery a zużycie energii może być mniejsze, ponieważ silniki elektryczne są bardziej sprawne od spalinowych, podczas postojów mogą być wyłączone, umożliwiają ponadto odzyskiwanie dużej części energii kinetycznej podczas zwalniania i hamowania, szczególnie podczas jazdy w mieście.

Najbardziej newralgicznym punktem ograniczającym powszechne stosowanie samochodów elektrycznych EV (Electric Vehicles) jest źródło energii elektrycznej. Ze względów ekonomicznych najpowszechniej do tej pory stosowany był kwasowy akumulator ołowiowy. Nie jest to najszybsze rozwiązanie. Energia zgromadzona w akumulatorze tego typu o masie 400 kilogramów odpowiada tej, którą zapewnia 5 litrów paliwa. Ta duża masa i mała wydajność energetyczna powodują, że prędkość, przyspieszenia oraz zasięg pojazdu EV z takim źródłem energii są niewielkie. Brak odpowiedniego, niedrogiego źródła energii elektrycznej oraz konieczność drastycznego zredukowania toksycznych emisji przez pojazdy samochodowe z silnikami spalinowymi skłoniła w ostatnich latach do poważnego potraktowania samochodów o napędzie mieszanym HEV (Hybrid Electric Vehicles).

Pomysł pojazdu hybrydowego został przedstawiony do opatentowania przez amerykańskiego inżyniera H. Pipera już w roku 1905. Szybki rozwój coraz mocniejszych silników spalinowych, stworzenie prostych układów rozruchowych oraz podaż taniego paliwa spowodowały stopniowy zanik zainteresowania stosowaniem silników elektrycznych w pojazdach samochodowych. Dopiero kryzys energetyczny w połowie lat siedemdziesiątych spowodował wzrost zainteresowania konstrukcjami HEV a wymogi ekologiczne w ostatnich latach oraz zagrożenie szybkim wyczerpaniem zasobów paliw kopalnych ponownie przyczyniły się do popartych poważnymi nakładami finansowymi coraz intensywniejszych prac w tym kierunku.

Administracja USA ogłosiła w roku 1993 ambitny program PNGV (Partnership for a New Generation of Vehicles) – „Partnerstwo dla Nowej Generacji Pojazdów”, który zapewnił poważne fundusze i udział najpoważniejszych producentów samochodów w USA w pracach nad opracowaniem pojazdu zdolnego do przejechania 100 km na 3 litrach paliwa [1]. Samochód taki byłby 3,5 razy ekonomiczniejszy od dzisiejszych amerykańskich średniej wielkości aut z silnikiem spalinowym. W założeniach PNGV tak niskie zużycie paliwa nie może być ponadto uzyskane kosztem osiągnięć i bezpieczeństwa a wszystko to przy rozsądnej cenie samochodu i ośmiokrotnie zmniejszonej emisji zanieczyszczeń. Na obecnym etapie wiedzy praktycznie tylko hybrydowa kombinacja silnika wewnętrznego spalania i silnika elektrycznego zasilanego z elektrochemicznego źródła energii miałoby szanse spełnienia trudnych wymagań PNGV w najbliższej przyszłości.

Skonstruowane dotychczas układy hybrydowe łączą w ograniczonym zasięgu (spowodowanym głównie brakiem odpowiedniego źródła energii elektrycznej) zalety samochodu z silnikiem spalinowym i z silnikiem elektrycznym: mogą pokonywać krótkie trasy (np. w ruchu miejskim), jako pojazd stricte EV, zachowując jednocześnie dynamikę i zasięg klasycznych samochodów.

Różne kombinacje HEV można podzielić na trzy podstawowe grupy: układów szeregowych, równoległych i szeregowo – równoległych.

W HEV szeregowych silnik szeregowy napędza generator ładujący akumulatory, z których dostarczana jest energia silnikom elektrycznym napędzającym koła.

W HEV równoległym na koła można przenosić moment obrotowy zarówno z silnika spalinowego, jak i elektrycznego. Układ równoległy nie potrzebuje dodatkowego generatora, ponieważ w czasie pracy silnika spalinowego można za pośrednictwem odpowiedniego układu sprzęgającego spowodować obracanie się rotora silnika elektrycznego, przez co staje się on generatorem ładującym akumulatory. Układ równoległy można wyposażyć w silniki spalinowe i elektryczne o mniejszej mocy (od 15 do 35 kW), ponieważ mogą one pracować razem w sposób ciągły i wtedy ich moce sumują się.

Oba rodzaje pojazdów HEV mogą pracować tylko w elektrycznym trybie pracy, jako układy EV wykorzystując energię zgromadzoną w akumulatorach, mogą wykorzystywać do napędu silnik spalinowy (w układzie szeregowym pośrednictwo generatora elektrycznego jest konieczne) oraz mogą wykorzystywać oba źródła energii jednocześnie.

Odmienne właściwości obu układów odpowiadają różnym potrzebom. HEV szeregowy wykorzystuje silniki o mniejszej mocy niż równoległy, przez co jest bardziej ekologiczny.

Dla użytkownika pokonującego w ruchu miejskim stosunkowo niewielkie odległości po w miarę płaskim terenie silnik spalinowy w układzie szeregowym HEV może pracować w optymalnym dla siebie zakresie obrotów, bez częstych i dużych zmian prędkości i obciążenia, co powoduje, że pojazd o stosunkowo niewielkiej mocy układu napędowego ma duże zasięgi zużywając niewiele paliwa na 100 km i charakteryzuje się wyjątkowo niską emisją szkodliwych spalin.

Do długich przejazdów związanych z częstymi zmianami prędkości i obciążen napędu, np. przy gwałtownym przyspieszeniu lub pokonywaniem wzniesień, bardziej przydatny jest HEV w układzie równoległym, który przypomina w prowadzeniu klasyczne auto z silnikiem spalinowym.

Oczekuje się, że HEV w układach równoległych w warunkach miejskich ograniczą zużycie paliwa o ponad 40%.

Istnieją również HEV z układami podwójnymi. Są to układy szeregowo – równoległe, w których wymagany tryb pracy (szeregowy lub równoległy) realizowany jest przez wyspecjalizowany układ sterujący pracą dwóch silników elektrycznych, odpowiednio dobranych i zamontowanych na pojeździe.

Należy zauważyć, że pojazdy hybrydowe o żądanych parametrach pociągają za sobą konieczność zastosowania wielu innowacji w stosowanych obecnie technologiach wykorzystywanych w przemyśle samochodowym. Chodzi tu między innymi o lżejsze, ale i bezpieczne nadwozia, sprawniejsze silniki spalinowe o niskiej emisji szkodliwych spalin, sprawniejsze silniki i generatory elektryczne, a przede wszystkim bardziej wydajne i odporne na wstrząsy akumulatory oraz inne źródła energii elektrycznej [6], (np. ogniwa paliwowe).

---

## 5. NOWE ŹRÓDŁA ENERGII ELEKTRYCZNEJ DLA POJAZDÓW SAMOCHODOWYCH

---

Największą przeszkodą w praktycznym wykorzystaniu samochodów elektrycznych był brak odpowiedniego i niedrogiego źródła energii elektrycznej. Elektrochemiczne źródło energii jest zasadniczym elementem pojazdów elek-



trycznych, w zależności bowiem od swych właściwości określa masę pojazdu, jego zasięg oraz osiągi związane z mocą. Główne wymagania stawiane tym źródłom dotyczą: energii właściwej – ze względu na zasięg, mocy właściwej – z uwagi na start i przyspieszanie, stopnia wykorzystania w cyklu pracy, temperatury pracy, czasu regeneracji, liczby możliwych cykli pracy, możliwości utylizacji po zakończeniu jego eksploatacji, a wreszcie – możliwości bezpiecznej eksploatacji, dostępności i ceny.

O tym, jak wielkie wymagania stoją przed poszukiwanymi nowymi bateriami do napędu pojazdów, świadczy fakt, że benzyna w zbiorniku o pojemności 60 litrów ma masę 50 kg a bateria klasycznych akumulatorów kwasowych, zapewniająca taki sam zasięg w pojeździe EV, musiałaby być dużo większa i posiadać masę 2000 kg (większą niż samochód). Wynika to z faktu, że bateria kwasowo – ołowiowa może zgromadzić tylko 30 Wh/kg energii właściwej, czyli około 400 razy mniej niż benzyna o tej samej masie (energia zawarta w benzynie wynosi około 44 MJ/kg  $\approx$  12 kWh/kg).

Warunki pracy źródła energii w postaci akumulatora wynikają z cykli pracy pojazdu, a mianowicie:

- obciążenia prądowe baterii w czasie są nierównomierne;
- przeciążalność baterii  $I_B / I_{Bn} > 20$  ( $I_B$  – prąd baterii);
- bateria musi charakteryzować się dużą dynamiką reakcji elektrochemicznych w procesach ładowania i wyładowywania;
- bateria powinna pracować prawidłowo w szerokim zakresie temperatur ( $-30 + 50^\circ\text{C}$ );
- bateria musi posiadać odpowiednie parametry energetyczne w stosunku do masy jak i objętości;
- bateria musi umożliwiać wydatkowanie i pobór dużych ilości energii w stosunku do pojemności w krótkich okresach czasu pomiędzy i w czasie gromadzenia energii w fazach rekuperacji.

Obecne prace nad bateriami akumulatorowymi prowadzone są w dwóch kierunkach:

Baterie kwasowo – ołowiowe, opatentowane już w r. 1881, pomimo niespełnienia wielu spośród wymienionych wymogów są stosowane, jako akumulatory w pojazdach samochodowych do dzisiaj. Ich podstawowe zalety to: prosta konserwacja, niska temperatura eksploatacji, wysoka wydajność cyklu, bardzo korzystna cena, dostępność i brak problemów z utylizacją. W ramach udoskonalania baterii tego typu opracowano między innymi tzw. bezobsługową sześciogniową baterię typu „jelly roll”. Posiada ona w spiralnie zwiniętych ogniwach baterii (umieszczonych w foliach z tworzywa sztucznego) płyty elastyczne zanurzone w galaretowatym elektrolicie. Bateria ta o masie 20 kg może dostarczyć mocy 9 kW (moc właściwa 450 W/kg). Przy napięciu znamionowym 12 V i pojem-

ności 50 Ah wytrzymałe 350 cykli głębokiego ładowania – wyładowania. Jej energia właściwa wynosi ok. 30 Wh/kg [8].

**TABELA 1**

Zestawienie wartości parametrów energetycznych wymaganych przez pojazdy elektryczne EV i hybrydowe HEV od baterii oraz parametry akumulatorów klasycznych [7]

Parametry	Bateria do napędu:		Baterie ołowiowo – kwasowe
	Elektrycznego EV	Hybrydowego HEV	
Energia właściwa [Wh/kg]	150 – 200	80 – 150	25 – 35
Gęstość energii [Wh/l]	230 – 300	100 – 230	70 – 80
Moc właściwa [W/kg]	300 – 1500	100 – 300	80 – 100
Gęstość mocy [W/l]	460 – 2500	150 – 460	200 – 260
Trwałość [cykle] [lata]	600 – 1000 5 – 10	600 – 3500 5 – 10	200 – 400 2 – 5

Akumulator nikielowo – wodorkowy Ni–MH jest następcą opracowanego w latach sześćdziesiątych odwracalnego ogniwa nikielowo – wodorowego. Wprowadziła go na rynek w 1990 r. Japońska firma Sanyo Electric. Jego anoda wykonana była ze stopu niklu i lantanu i potrafiła ona zaabsorbować wodór o objętości 1000 razy większej, niż wynosi jej objętość. Na elektrody wodorkowe stosuje się obecnie rozmaite stopy metali ziem rzadkich z niklem, kobaltu, manganu, boru, tytanu, glinu lub wanadu.

Również akumulatory litowo–jonowe mają podobne wskaźniki energetyczne w stosunku do masy. Badania z litem zaczęły się w 1912 roku, kiedy to amerykański fizykochemik Gilbert Newton Lewis rozpoczął pionierskie prace nad ogniwem litowym. Dopiero jednak na początku lat siedemdziesiątych pojawiły się w sprzedaży pierwsze baterijki litowe. Od tej pory spotykamy je coraz częściej, pod żadnym jednak pozorem nie nadają się do powtórnego ładowania. W 1989 roku wycofano z rynku ponad milion takich baterijek, które miały pełnić rolę akumulatorów. Niektóre z nich po prostu wybuchły! Odnotowano nawet wypadek poparzenia twarzy człowieka rozmawiającego przez telefon komórkowy, w którym eksplodował taki akumulator. Przyczyna tkwiła w nierównomiernym odkładaniu się metalicznego litu na elektrodzie ujemnej podczas ładowania ogniwa.

Dopiero stosunkowo niedawno Japończykom udało się przezwyciężyć trudności i zbudować pierwsze bezpieczne akumulatory litowe (Li-Ion). Firma Sony wprowadziła je w 1991 roku. Istotą tego rozwiązania było zastosowanie litu jedynie w postaci jonów, bez elementów z metalicznego litu. Elektrody dodatnie (**katody**) wytwarzane są z mieszaniny tlenku **kobaltu**  $\text{Li}_x\text{CoO}_2$  (**15%**), **niklu**  $\text{Li}_x\text{NiO}_2$  (**80%**) lub manganu  $\text{Li}_x\text{Mn}_2\text{O}_4$ , mieszaniny  $\text{MnO}_2$  i  $\text{Li}_x\text{MnO}_3$  oraz **aluminium** (**5%**), a ujemną (**anodę**) ze specjalnie preparowanego węgla (grafitu) – stosuje się również stopy Li–Al, Li–Si,  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ , amorficzny tlenek cyny  $\text{Sn}_x\text{O}_y$ . Wydzielane na niej podczas ładowania atomy litu nie tworzą metalicznej warstwy, lecz wciskają się w jej strukturę. Proces ten zwany jest interkalacją. Jako **elektrolity** stosuje się roztwory soli litu w rozpuszczalnikach organicznych, np. nadchloran litu  $\text{LiClO}_4$  w dioksolanie  $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2$ . Proces ładowania i rozładowania w uproszczeniu związany jest z przenoszeniem jonów litu przez elektrolit. Podczas ładowania pobierają one elektron od elektrody ujemnej (anody) i jednocześnie unieruchamiane są w strukturze, jako obojętne atomy. Podczas rozładowania oddają elektron elektrodzie i przechodzą do elektrolitu, jako jony litu. Podobny, tylko odwrotny proces zachodzi na elektrodzie dodatniej (katodzie).

W ostatnich kilku latach opracowano wiele nowych elektrod, zarówno dodatnich, jak i ujemnych, oraz organicznych elektrolitów, w których przenoszone są jony litu. Zasada działania akumulatora Li-Ion pozostaje taka sama, poprawiane są jednak w ten sposób jego parametry.

Poszukiwania nowych typów elektrod i elektrolitów cały czas trwają. Obliczenia teoretyczne wskazują bowiem, że pojemność baterii Li-Ion można zwiększyć jeszcze do 2700 Wh/kg, czyli aż 20 razy w stosunku do obecnie stosowanych.

W akumulatorach litowo – polimerowych (Li – P) zasada działania jest taka sama, jak w przypadku akumulatora Li – Ion. Inna jest jednak budowa. Elektrode dodatnią wykonuje się z podobnych materiałów, a elektrodę ujemną stanowi metaliczny lit. Elektrolitem jest polimer zawierający jony litu, na przykład politlenek etylenu z dodatkiem tiocyjanianu litu (LiSCN)

Z punktu widzenia zastosowań w motoryzacji ciekawymi właściwościami wyróżniają się również akumulatory wanadowe opracowane w 1998 r. na Uniwersytecie w Nowej Południowej Walii (Australia). Akumulatory te tworzą elektrody w formie dwóch komór oddzielonych od siebie półprzepuszczalną przegrodą, do których tłoczony jest z oddzielnych zbiorników wodny roztwór jonów wanadu w kwasie siarkowym – z tym, że do każdej komory inny – zawierający wanad o innym stopniu utlenienia. W wyniku procesów elektrochemicznych, które zachodzą w roztworach, na elektrodzie dodatniej pojawia się niedobór, a na ujemnej nadmiar elektronów. Po rozładowaniu akumulatora nie trzeba marnować wielu godzin na jego ponowne naładowanie, a wystarczy tylko (na odpowiednio wyposażonej stacji obsługi) szybko wymienić (lub przepompować)

roztwory (w odpowiednio przygotowanych zbiornikach) na już naładowane i akumulator gotowy jest do dalszej pracy. Zużyte elektrolity mogą być w międzyczasie regenerowane na „wanadowej” stacji [8].

Ponad 150-letnie badania w dziedzinie poszukiwań lepszych rozwiązań ogniw elektrochemicznych doprowadziły tylko do około dziesięciokrotnego poprawienia ogólnej charakterystyki znanego akumulatora elektrochemicznego. Możemy jednak spodziewać się, że dzięki zwiększonym nakładom oraz dużemu zainteresowaniu ze strony przemysłu samochodowego może nastąpić szybki postęp w tym względzie. Można sobie zadać pytanie czy jest to możliwe? Załóżmy, że średnia odległość między atomami w elektrodach i elektrolicie wynosi 20 nm ( $2 \times 10^{-10}$  m) a średnia gęstość akumulatora wynosi  $2800 \text{ kg/m}^3$ . W masie 1 kg takiej materii znajduje się więc średnio  $4,5 \times 10^{25}$  atomów. Dla akumulatorów Li – Ion można przyjąć, że jego masa 1 kg w pełnym procesie rozładowania może dostarczyć  $9 \times 10^{23}$  elektronów, Przynajmniej dwa atomy muszą brać udział w przeniesieniu elektronu, bo jeden go oddaje a drugi odbiera. Tak więc zaledwie co dwudziesty piąty atom bierze udział w wytwarzaniu prądu w procesie elektrochemicznym i nawet jeżeli nie wszystkie atomy muszą wziąć udział w tym procesie, to i tak dość realne wydaje się być zwiększenie przynajmniej 20 krotnie pojemności tego akumulatora [8]. W roku 2007 prasa naukowa poinformowała, że dzięki zastosowaniu nanorurek krzemowych do budowy anody możliwe jest 10 krotne zwiększenie pojemności akumulatorów Li – Ion.

Oprócz akumulatorów duże nadzieje wiąże się obecnie z elektrochemicznymi ogniwami paliwowymi, jako źródłami energii napędu elektrycznego. W odróżnieniu od znanych ogniw, w których zmagazynowana jest określona ilość energii, ogniwa paliwowe pracują tak długo, jak długo dostarcza się im paliwa i utleniacza i dopóki elementy ogniwa są sprawne. Najkorzystniejszym paliwem ogniw paliwowych jest wodór. Co prawda można byłoby stosować inne rodzaje paliw, ale istnieje szereg problemów związanych z produktami reakcji. Zatrwałyby one środowisko i materiały elektrod, a w efekcie tych niekorzystnych zmian w ogniwie malałaby jego sprawność energetyczna. Stosowanie wodoru, jako paliwa umożliwia ponadto pracę ogniw paliwowych w dostatecznie niskiej temperaturze dopuszczalnej w normalnych warunkach pracy pojazdu. Dla osiągnięcia dostatecznie szybkiej pracy ogniwa w stosunkowo niskich zakresach temperatur wymagane jest jednak stosowanie katalizatorów, z których najlepsze parametry (poza ceną) posiada platyna. Sprawność bezpośrednia przemiany energii chemicznej w elektryczną może być teoretycznie bardzo wysoka, jednak powolna reakcja tlenu na katodzie ogranicza ją do 45–60%. Istotną przyczyną zmniejszania sprawności ogniw paliwowych jest rezystancja elektrolitu i niejednorodność jego koncentracji. Straty te można obniżyć, wykorzystując silnie kwaśne lub alkaliczne elektrolity.

Ogniwa paliwowe alkaliczne (AFC) wymagają mniejszej ilości platyny, jednak są bardzo wrażliwe na zanieczyszczenia dwutlenkiem węgla, który reagując z elektrolitem wytwarza stałe węglany wytrącające się w elektrolicie i na elektrodach (głównie katodzie), co obniża sprawność energetyczną ogniwa.

Ogniwa z elektrolitem kwasowym z kolei mają mniejszą sprawność, ponieważ do przewodzenia jonów wodorowych typowe kwasy potrzebują środowiska wodnego, a więc ogniwa muszą pracować poniżej temperatury wrzenia wody (100°C). Wyjątkiem jest stężony kwas fosforowy, który umożliwia pracę ogniwa (PAFC) w temperaturze do 200°C. Tego typu ogniwo może być zasilane wodorem uzyskiwanym w procesie reformingu z gazu ziemnego i tlenem zawartym w powietrzu, ale stosunkowo długi czas (rzędu kilku godzin) potrzebny do rozgrzania ogranicza możliwość zastosowania ich w pojazdach samochodowych.

Najlepiej do zastosowania w pojazdach samochodowych nadaje się (pracujące w temperaturze około 80°C) ogniwo polimerowe, zwane również ogniwnem paliwowym z membraną wymiany protonów PEMFC (lub krócej PEM). Elektrolit w tych ogniwach ma postać polimerowej membrany separującej elektrody. Przykładem może być elektrolit o nazwie Nafion firmy Du Pont, zawierający grupy kwasu sulfonowego ułatwiające przepływ protonów. Elektrolitami z syntetycznych polimerów zaczęto interesować się w latach sześćdziesiątych, ponieważ większość roztworów wodnych kwasów jest lotna lub niestabilna, co uniemożliwiało ich szersze zastosowanie w ogniwach.

Poważnym hamulcem powszechnego stosowania ogniwa typu PEM jest konieczność stosowania, jako katalizatora stosunkowo dużej ilości platyny. W typowym rozwiązaniu cząsteczki platyny o średnicy około 10 atomów są osadzone na cząsteczkach elektrod węglowych. Pomimo, że udało się w ostatnim dziesięcioleciu zmniejszyć 30–krotnie koszt niezbędnej platyny do uzyskania 1 kW mocy, to i tak jest to nadal dużo (choć ocenia się, że tą wartość można jeszcze zmniejszyć o 50%), ponieważ samochód o stosunkowo dobrej dynamice potrzebuje nie najmniej niż 50 kW (65 KM) mocy elektrycznej tylko podczas przyspieszania. Przy założeniu, że wyprodukowano by rocznie tylko dwa miliony aut (tj. około 5% obecnej rocznej produkcji samochodów), w których użyto by ogniwa PEM o mocy 50 kW, to pochłonęłyby to przedsięwzięcie 1/3 (około 50 ton) obecnej produkcji globalnej platyny. Czynione są poszukiwania powszechnie dostępnego i niedrogiego substytutu platyny do zastąpienia jej (przynajmniej częściowo) na elektrodach.

Dla uzyskania wymaganych mocy tworzone są tzw. stosy, w których zespoły elektroda membrana o grubości jedynie 2,5 mm są łączone szeregowo za pomocą płyt przedzielających katodę jednego i anodę doń przyległego ogniwa. Po obu stronach płyt umieszcza się materiały porowate (bądź kanały) ułatwiające dostęp wodoru i tlenu do elektrod. W płytach mogą być również umieszczone kanały do obiegu wody chłodzącej. Firma Ballard Power System

z Vancouver wykonała 45–kilogramowy stos o objętości 30 l, wytwarzający 32,3 kW mocy przy sprawności 54% [9]. Firma stworzyła różne wersje stosów służących do napędu autobusów w Vancouver i Chicago oraz do kilku doświadczalnych pojazdów Daimler–Chryslera.

Pokonanie tych problemów w krótkim czasie wymaga intensywnych badań, a więc inwestowania w tą dziedzinę stosunkowo dużych pieniędzy. Aby pojazdy wykorzystujące do napędu ogniwa PEM, stały się powszechne, muszą być nie droższe niż inne systemy napędowe, a koszty wytwarzanej przez nie mocy muszą być poniżej 50 \$ za kW.

Aby samochody napędzane „silnikiem elektrochemicznym” [9], czyli stosem ogniw paliwowych zasilających silnik elektryczny – stały się powszechne w użyciu należałoby opracować bądź ulepszyć metody magazynowania lub wytwarzania wodoru w samym pojeździe. Przewóz w samochodzie 3 kg wodoru (ilości niezbędnej do przejechania 500 km małym autem) wymagałoby przy ciśnieniu atmosferycznym zbiornika o objętości 36 m<sup>3</sup>, czyli tyle, co wynosi objętość kilku samochodów. Ta ilość sprężonego wodoru wymaga zbiornika o objętości 180 l, co zajęłoby niema pół bagażnika samochodu [9]. Najlepsze i stosunkowo najbezpieczniejsze byłoby zastosowanie zbiorników wypełnionych wodorkami metali, które odwracalnie związują do 2% wagowych gazu a zbiornik magazynujący wspomniane 3 kg wodoru miałby objętość tylko 50 l. Materiały stosowane na wodorki metali są jednak stosunkowo ciężkie i drogie. Przełomem może okazać się zastosowanie nanowłókien węglowych. W Northeastern University udało się z ich pomocą bardzo wydajnie magazynować wodór, wykorzystując odwracalną absorpcję gazu w temperaturze otoczenia – do zmagazynowania 3 kg wodoru wymaganą objętość można byłoby zmniejszyć do około 18 litrów. Według badań laboratoryjnych 1 g fullerenów węglowych może bowiem dostarczyć 10 l wodoru, co przy zgromadzonej energii właściwej 16000 Wh/kg i gęstości energii 32000 Wh/l mogłoby prawie dziesięciokrotnie powiększyć potencjał energetyczny ogniwa o tej samej objętości.

Rozpatruje się również wykorzystanie metanolu, jako źródła wodoru w ogniwach paliwowych. Metanol poddany w pojeździe reformingowi pozwala w obecności katalizatora na uzyskiwanie w reakcji z para wodną w temperaturze 280°C paliwa wodorowego. Najkorzystniejsze do zastosowania wydają się ogniwa typu PAFC, które pracując w temperaturach rzędu 200°C ułatwiałyby pozyskiwanie stosunkowo tanim kosztem parę do konwertera metanolu. Ponadto podwyższona temperatura pracy ogniwa czyni je bardziej odpornymi na niekorzystne oddziaływanie tlenku węgla, który w małych ilościach powstaje, jako produkt uboczny reakcji wraz tlenkami azotu. Sprawność przemiany metanol–prąd w typowych ogniwach PAFC sięga 50%, a wyprodukowane w latach dziewięćdziesiątych przez firmę H Power z Blleville w stanie New Jersey doświadczalne autobusy z napędem tego typu miały sprawność dwukrotnie wyższą niż auto-

busy napędzane silnikami wysokoprężnymi a emisja zanieczyszczeń mieściła się w surowych ograniczeniach norm federalnych (wynosiła tylko 1,5% tlenku węgla i 0,25% tlenków azotu). Wydaje się, że autobusy, w których zainstalowano by tego typu ogniwa i wyposażono w wysoko wydajne baterie akumulatorów (potrzebnych na czas rozruchu ogniwa i magazynujących energię odzyskiwaną w procesie hamowania w celu podwyższenia sprawności układu) mogłyby w znacznym stopniu obniżyć emisję toksycznych spalin w transporcie miejskim. Do dystrybucji metanolu można byłoby stosunkowo małym kosztem dostosować istniejącą sieć do dystrybucji benzyny.

## 6. POJAZDY ELEKTRYCZNE

---

Pojazdy elektryczne EV wymagają ciągłego strumienia energii rzędu 40 kWh i taką energię powinny zapewnić współczesne akumulatory litowo-jonowe, które charakteryzują się na dzień dzisiejszy największymi wielkościami gęstości energii (odniesionej do objętości źródła) a szczególności energii właściwej (odniesionej do masy baterii). Porównując akumulatory o takiej samej gęstości energii – nowe akumulatory litowo-jonowe czwartej generacji opracowane przez firmę Hitachi mają o połowę mniejszą objętość i masę niż najlepiej dopracowane na dzisiaj akumulatory niklowo-wodorkowe i tylko jedną-trzecią objętości i masy nowoczesnych akumulatorów ołowiuowo-kwasowych. Docelowo Hitachi planuje produkować 700 tys. pakietów akumulatorów dla aut hybrydowych. Dzięki elektryfikacji transportu samochodowego Hitachi przewiduje, że do 2015 r. produkcja akumulatorów litowo-jonowych wzrośnie 70-krotnie.

Czas ładowania akumulatorów skrócił się w ostatnich latach do tego stopnia, że praktycznie możliwe staje się wykorzystanie w pełni ich możliwości w pojazdach. Produkowane obecnie akumulatory litowo-jonowe można zazwyczaj naładować do 80% ich pojemności w czasie od 15 do 60 minut, przy czym zaznaczyć należy, że większy prąd ładowania powoduje szybszą degradację akumulatora.

Niektórzy producenci, jak Altair Nanotechnologies oraz Toshiba posiadają już opracowane akumulatory, wykorzystujące tytanian litu, które można naładować do 80–90% w mniej niż 5 minut, a do 100% w około 10 minut i to przy zachowaniu żywotności na poziomie 10–15 lat. Obaj wymienieni producenci przymierzają się do komercjalizacji swoich produktów na dużą skalę. Toshiba inwestuje ponad 300 mln USD aby w 2010r. produkować 3 mln ogniw miesięcznie oraz 10 mln ogniw miesięcznie w 2015r. Firma Hitachi ma zamiar zainwestować około 207 – 310 mln USD w produkcję akumulatorów litowo-

jonowych, dzięki czemu moce produkcyjne pod koniec przyszłego roku wzrosną ponad 6–krotnie. Ogniwa trzeciej generacji (o gęstości mocy wynoszącej 3000 W/kg) będą przeznaczone głównie dla samochodów elektrycznych i hybrydowych. Jednocześnie firma poinformowała, że opracowała akumulatory czwartej generacji, z których można uzyskać gęstość mocy wynoszącą 4500 W/kg, w których zastosowano manganowe katody umożliwiające obniżenie wewnętrznego oporu. Firma Hitachi ma zamiar zainwestować około 207 – 310 mln USD w produkcję akumulatorów litowo – jonowych, dzięki czemu moce produkcyjne pod koniec przyszłego roku wzrosną ponad 6–krotnie. Ogniwa trzeciej generacji (o gęstości mocy wynoszącej 3000 W/kg) będą przeznaczone głównie dla samochodów elektrycznych i hybrydowych. Jednocześnie firma poinformowała, że opracowała akumulatory czwartej generacji, z których można uzyskać gęstość mocy wynoszącą 4500 W/kg, w których zastosowano manganowe katody umożliwiające obniżenie wewnętrznego oporu.

**TABELA 2**

Zestawienie akumulatorów stosowanych w pojazdach napędzanych elektrycznie

Typ akumulatora	Energia właściwa [Wh/kg]	Moc właściwa [W/kg]	Sprawność [%]	Liczba cykli	Samorozładowanie [% na dobę]	Koszt [\$/kWh]
Kwasowo-olowiowy	35–50	150–400	>80	500–1000	0,3	120–150
Ni–Cd	50–60	80–150	70	>800	<0,5	250–350
Ni–Fe	50–60	80–150	75	1500–2000	1,5	200–400
Ni–Zn	55–75	170–260	65	300	0,8	100–300
Ni–MH	70–95	200–300	70	750–1200	>3	200–350
Cynkowo-powietrzny	100–220	30–80	60	>600	b.d.	90–120
NaNiCl <sub>2</sub>	90–120	130–160	80	>1200	10	230–345
Li–Ion	80–130	200–300	95	>1000	0.35	średnio 700
Li–P	do 155	do 250	>95	600	0,5%/miesiąc	b.d

W chwili obecnej cena energii kształtuje się w trakcyjnych akumulatorach litowo – jonowych na poziomie 1000 USD za kWh i aby baterie te były opłacalne nie powinna przekroczyć 150 USD (w akumulatorach stosowanych we współczesnych urządzeniach elektronicznych wynosi 250 USD).

Dyrektor firmy Ener1, która jest większościowym udziałowcem firmy EnerDel, Charles Gassenheimer, oświadczył, że ceny akumulatorów litowo – jonowych dla pojazdów elektrycznych mogą spaść nawet o połowę w ciągu najbliższych lat za sprawą ich masowej produkcji. Ener1 jest dostawcą akumulatorów dla norweskiej firmy Think Global produkującej samochody elektryczne oraz dla Toyoty (hybrydowy plug-in Prius).



Renault zapowiada, że w ciągu najbliższych lat wprowadzi do sprzedaży elektryczne samochody, których cena w Wielkiej Brytanii będzie taka sama jak wersji z silnikami wysokoprężnymi. Wszystko dzięki dopłatom planowanym przez brytyjski rząd. Szef Renault ma nadzieję, że dzięki zachętom rządu i niższym kosztom użytkowania elektrycznych samochodów, uda się Renault wykonać plan, by w 2015 roku 15% wszystkich sprzedawanych Renault miało napęd elektryczny. Na 2011 rok zapowiadane są w sprzedaży pierwsze elektryczne Renault. Można będzie wybrać jedną z dwóch metod "ładowania": podłączyć auto do gniazdka w domu lub miejscu pracy, lub pojechać do specjalnie przygotowanej stacji wymiany akumulatorów. Taki punkt ma być właściwie bezobsługowy i działać jak myjnie automatyczne – wystarczy wjechać i poczekać aż maszyna załatwi wszystko za nas – nie powinno to trwać dłużej niż pięć minut. W pełni naładowane baterie mają wystarczyć na przejechanie ok. 160 km, co wydaje się zupełnie wystarczającym dystansem i może nawet oznaczać, że samochodu nie trzeba będzie ładować codziennie. Renault opublikowało zapowiedź czterech elektrycznych aut, które swoją premierę będą miały we Frankfurcie. Mimo że wyglądają na bardzo futurystyczne, to wszystkie modele do sprzedaży trafią prawdopodobnie już w 2012 roku. Skąd ten nagły atak francuskiej firmy na rynek „wtyczkowozów”? Szef koncernu Carlos Ghosn przekonuje, że w wyniku wzrostu ceny ropy oraz znacznego spadku kosztów budowy aut elektrycznych już niebawem będą one stanowić nawet 10 proc. wszystkich produkowanych samochodów. Renault chce być przygotowane na taką ewentualność. Zgodnie z zapowiedziami Ghosn-a, do 2016 r. firma rocznie produkować będzie aż 100 000 takich aut, a pełna gama modeli o zerowej emisji ma być dostępna już za dwa lata.auta "na baterie" mają tę przewagę, że koszty ich eksploatacji nie zależą od cen ropy naftowej. A właśnie ten aspekt ma podstawowe znaczenie, poza – mniej lub bardziej szczerą – troską producentów o środowisko.

Carlos Ghosn – CEO (ang. *Chief Executive Officer*) – prezes rady nadzorczej Nissana – zapowiedział, że jego firma planuje wdrożyć do produkcji kolejne (oprócz Leaf-a) dwa samochody elektryczne. Będzie to duży samochód dostawczy NV200 EV oraz sedan Infiniti, który powstanie na tym samym podwoziu, co Leaf.

Szef Nissana zapowiedział ponadto, że Nissan ma ambicje stać się liderem wśród producentów samochodów w 100% elektrycznych i nie ma zamiaru skupiać się na hybrydach. Dodajmy, że liderem wśród producentów osobowych aut hybrydowych jest inna japońska firma – Toyota.

Leaf jest pierwszym samochodem elektrycznym firmy Nissan, który wejdzie do masowej produkcji. Auto zaprezentowano 2 sierpnia 2009 r. Produkcję rozpoczęto w drugiej połowie 2010 r. i w ciągu kilku lat powinna osiągnąć nawet 200–300 tys. sztuk. Początkowo Leaf będzie dostępny tylko w Japonii (przedpłaty na 4 tys. sztuk) i USA (zamówiono już 115 tys., sztuk), a w 2012 r. na całym świecie.

Nissan Leaf wyposażony jest w pakiet akumulatorów litowo – jonowych, który wystarczy do pokonania ponad 160 km na jednym ładowaniu. Energię elektryczną będzie można uzupełnić podłączając samochód zarówno do standardowych gniazdek jak i do stacji szybkiego ładowania. Prędkość maksymalna pojazdu przekracza 140 km/h. Ostateczna cena elektrycznego Nissana nie jest jeszcze znana, ale ma być ponoć "przystępna". Ponadto najprawdopodobniej baterie do auta będą dostępne, jako leasingowane (przynajmniej na początku).

Leaf będzie wyposażony w zaawansowany system informatyczny, komunikujący się cały czas z centrum Nissana. Dzięki temu pokładowa nawigacja będzie mogła wyświetlać promień zasięgu oraz położenie stacji do ładowania (wraz z informacją). Oprogramowanie będzie również w stanie oszacować, czy jesteśmy w stanie dotrzeć do celu (przy danym stanie naładowania akumulatorów). Ponadto właściciel pojazdu będzie mógł zaprogramować godziny ładowania akumulatorów (np. włączenie o 23.00, kiedy energia elektryczna jest tańsza) i uruchomienie klimatyzacji (np. przed wyjazdem do pracy). Dodatkowo system może poinformować nas o tym, że auto jest już naładowane – wysyłając wiadomość na telefon komórkowy. Stan naładowania akumulatorów będzie można podejrzeć także w Internecie.

Niektóre źródła podają, że stacja do szybkiego ładowania o mocy 50 kW może kosztować około 45 tys. USD, natomiast pakiet akumulatorów około 10 tys. USD, (czyli około 420 USD za 1 kWh).

Samochód Mitsubishi iMiEV, jako pierwszy na świecie wszedł do seryjnej produkcji 4 czerwca 2009 r. i początkowo był sprzedawany tylko w Japonii. W roku 2009 wyprodukowano wstępnie 1400–2000 sztuk pojazdów iMiEV, natomiast w roku 2010 ponad 5000 sztuk. W kolejnych latach produkcja powinna wzrastać osiągając docelowo poziom kilkudziesięciu tysięcy sztuk rocznie.

Samochód iMiEV jest bardzo ekonomiczny, gdyż do przejechania 100 km wystarczy mu niewiele ponad 12 kWh, co oznacza od 3 do 9 razy mniejsze koszty jazdy (energii), niż w przypadku spalinowego odpowiednika. Pojazd może przejechać do 160 km na jednym ładowaniu, a energię można uzupełnić na trzy różne sposoby. Maksymalna prędkość wynosi 130 km/h. Wysoki moment obrotowy 180 Nm dostępny w niskich zakresach prędkości obrotowej silnika powoduje, że pojazd charakteryzuje się dobrym przyspieszeniem.

Piąty, co do wielkości chiński producent samochodów Beijing Automotive Industry Holdings Corp (BAIC) powołał spółkę córkę Beijing New Energy Automotive Company, która zajmie się produkcją aut elektrycznych i hybrydowych. Nowa firma ma już w 2011 r. produkować 20–40 tys. samochodów (w nowym zakładzie, na budowę, którego przeznaczonych zostanie 334 mln USD). Przy okazji powołania spółki BAIC zaprezentowano samochód elektryczny BE701 z akumulatorami litowo – jonowymi. AQuto ma zasięg 200 km i rozwija prędkość maksymalną 160 km/h. Pojazd napędzany jest przez silnik synchroniczny z magnesami

trwałymi poprzez 4–biegową automatyczną skrzynię biegów. Przyspieszenie od 0 do 100 km/h osiąga po około 15 s.

BYD to pierwszy samochód elektryczny w Chinach osiągalny w salonach od 2009 roku. Zasięg: 60 mil (około 97 km). Na salony światowe wszedł w 2010 roku. Cena: \$20,000 (£13,300) Firma BYD (Build Your Dreams) jest także największym na świecie producentem akumulatorów (w tym najtańszych akumulatorów samochodowych Li-Ion).

Należy brać pod uwagę, że „wtyczkowszy” są na tyle ekologiczne, na ile ekologiczny jest sposób pozyskiwania energii służącej do ładowania baterii.

Sceptycy twierdzą, że elektryczne pojazdy są również niekologiczne, ponieważ zwiększony popyt na energię elektryczną potrzebną do ładowania akumulatorów będzie uzupełniany z elektrowni ciepłych opalanych paliwami kopalnymi.

Amerykańscy naukowcy ze Stanford University [10], pracujący nad tym problemem od 10 lat twierdzą, że jest szansa, aby do 2030 roku całą energię na świecie czerpać z odnawialnej energii wiatru, wody i słońca (system WWS).

Zgodnie z danymi Energy Information Administration potencjalny poziom zużycia energii elektrycznej na świecie wymaga źródeł o łącznej mocy 12,5 TW (12,5 x 10<sup>12</sup> W), ale gdyby zastosować wyłącznie odnawialne źródła WWS, to zapotrzebowanie to zmalałoby do 11,5 TW (np. dlatego, że w silnikach spalinowych wykorzystuje się do napędzania tylko 17–20% wytwarzanej energii podczas, gdy w elektrycznych 75–86%). Do roku 2030 szacuje się, że zapotrzebowanie na moc wzrośnie do 16,9 TW, co wymagałoby wybudowania 13 tys. nowych elektrowni opalanych węglem za ok. 10 bln dolarów.

Szczegółowe badania wskazują, że przy obecnym stanie wiedzy i istniejących rozwiązaniach technologicznych praktycznie można wykorzystać 40–85 TW energii wiatru – przy obecnym wykorzystaniu zaledwie 0,02 TW (potencjalnie można byłoby pozyskać 1700 TW), a energii promieniowania słonecznego 580 TW – przy obecnym wykorzystaniu zaledwie 0,008 TW (potencjalnie można byłoby pozyskać 6500 TW).

Do osiągnięcia tego celu należałoby uruchomić 3,8 mln turbin wiatrowych (o mocy 5 MW każda), które dostarczyłyby 51% potrzebnej energii (na świecie produkuje się obecnie 73 mln samochodów i ciężarówek). Kolejne 40% pochodziłoby z baterii fotowoltaicznych i systemów skupiających energię słoneczną w elektrowniach, co oznacza konieczność wybudowania 89 tys. elektrowni słonecznych o przeciętnej mocy 300 MW (30% ogniw fotowoltaicznych można byłoby umieścić na dachach domów i budynków handlowych). Pozostałe 9% energii produkowałyby elektrownie wodne (70% z nich już istnieje). Całkowity koszt systemu WWS w ciągu 20 lat wyniósłby na świecie 100 bln dolarów.

W realizacji tego programu mogą wystąpić kłopoty z podażą niektórych metali i związków chemicznych, np. neodymu wykorzystywanego w skrzyniach

biegów turbin wiatrowych, telluru i indu stosowanych w produkcji pewnych rodzajów cienkowarstwowych ogniwo fotoelektrycznych a także srebra, złota, platyny i litu. Aby uniknąć takich kłopotów należy opracować takie rozwiązania techniczne, które eliminowałyby stosowanie tych metali a jeżeli byłoby to niemożliwe, należy opracować takie technologie, które umożliwiałyby szybki i niedrogi proces recyklingu tych metali i związków.

Jeżeli chodzi o niezawodność systemu i związane z tym koszty, to tylko w USA łączny czas planowanych i niespodziewanych remontów w elektrowniach węglowych zajmuje 12,5% okresu ich eksploatacji.

Aby zwiększyć niezawodność proponowanego systemu WWS w dostarczaniu energii należy tak lokalizować i/lub łączyć lokalizację składników tworzących system, aby wzajemnie się uzupełniały, należy instalować inteligentne liczniki umożliwiające ładowanie akumulatorów (pojazdów elektrycznych) w chwilach małego zapotrzebowania oraz budować instalacje magazynujące nadwyżki energii (np. w postaci magazynów sprężonego powietrza, przepompowni zbiorników wodnych leżących na różnych poziomach itp.)

W chwili obecnej podstawowym argumentem zwolenników elektrowni węglowych jest cena energii przy uwzględnieniu kosztów wygenerowania i przesłania w sieci. Obecnie w USA cena kilowatogodziny energii wiatru, geotermalnej i hydroelektrycznej wynosi mniej niż 7 centów, z konwencjonalnych źródeł około 7 centów a fal i słoneczna jest wyższa.

Przy rozsądnej polityce międzynarodowej już za 10–15 lat można byłoby pozyskiwać z systemu źródeł WWS 25% energii a z 20–30 lat niemal 100%, jednak bardziej realne staje się chyba perspektywa 40–50 lat.

## LITERATURA

1. Zorpette G.: W oczekiwaniu na supersamochód, Świat Nauki, Nr 6(94), 1999, str. 20–22.
2. N.N.: Environmental Data, Compendium 1997. OECD Organisation for Economic Cooperation and Development, Paris 1997.
3. Müller–Hellmann A.: Clean and Comfortable Public Transportation– a Vision into the Future, The 18th International Electric Vehicle Symposium, EVS 18 Berlin 2001.
4. Asaei B.: Electric Vehicle Design Based On Maximum Efficiency And Minimum Cost, The 18th International Electric Vehicle Symposium, EVS 18 Berlin 2001.
5. Lenz H. P., Prüller S.: Visions for Clean Air – future requirements and developments, The 18th International Electric Vehicle Symposium, EVS 18 Berlin 2001.
6. Badin F., Jeanneret B., Trigui R., Harel F.: Hybrid Vehicles, should we plug them to the grid or not ?, The 18th International Electric Vehicle Symposium, EVS 18 Berlin 2001.
7. Raymond A. Sutula, Kenneth L. Heitner, James A. Barnes, Tien Q. Duong, Robert S. Kirk, Vince Battaglia, B.J. Kumar, Connie Bezanson: Current Status Report on U.S. Department of Energy Electric and Hybrid Electric Vehicle Energy Storage R&D Programs, The 18th International Electric Vehicle Symposium, EVS 18 Berlin 2001.

8. Tyczkowski J.: Kłopoty z akumulatorem, Wiedza i Życie, Nr 12 (1999), str. 32–37.
9. Appleby A. J.: Elektrochemiczne silniki samochodowe, Świat Nauki, Nr 9 (97), 1999, str. 38–43.
10. Jacobson M. Z., Delucchi M. A., Moc trzech żywiołów, Świat nauki, Nr 12 (220), 2009, str. 58–65.
11. Brooke L. Winning the war for talent, Automotive engineering international, vol. 117, Nr 10, 2010, pp. 21 –24.

*Rękopis dostarczono dnia 08.07.2011 r.*

## WHETHER ELECTRIC CARS WILL BE THE VEHICLES OF A NEAR FUTURE?

Krzysztof POLAKOWSKI

**ABSTRACT** *Road transportation, as an important requirement of modern society, is presently hindered by restrictions in emission legislations as well as the availability of petroleum fuels, and as a consequence, the fuel cost. Besides, to reduce the greenhouse gases, and to obey the environmental laws of most countries, it would be necessary to replace a significant number of the petroleum-fueled internal-combustion-engine vehicles (ICEVs) with hybrid (HEV) and electric cars (EV) in the near future. In this article, we briefly describe the merits and demerits of various proposed electrochemical systems for electric cars, namely the storage batteries, fuel cells, and determine the power and energy requirements of a modern car.*