

Wybrane współczesne metody akumulacji energii w urządzeniach mobilnych

Konrad Zajkowski, Piotr Zieliński

Streszczenie

W artykule przedstawiono przegląd metod akumulacji energii do potrzeb urządzeń mobilnych w szczególności pojazdów. Omówiono obecne technologie oraz przytoczono przykładowe rozwiązania. Przedstawiony materiał dzięki przedstawieniu zalet i wad poszczególnych metod, umożliwia porównanie współczesnych technik akumulacji energii.

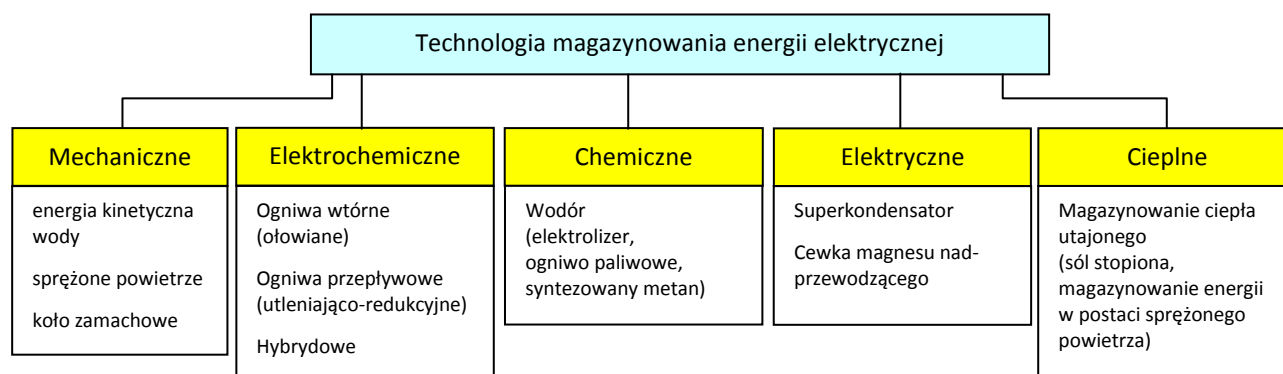
Słowa kluczowe: akumulator energii, grafen, ogniwo chemiczne, akumulator kinetyczny, superkondensator.

Wstęp

Rozwój technologiczny i urbanizacja globalna powoduje potrzebę przemieszczania się człowieka na dużym obszarze. Od współczesnych środków transportu wymaga się nie tylko bezpieczeństwa lecz również optymalnego zużycia energii w tym odnawialnej. Z biegiem lat pojawiały się coraz to nowsze technologie umożliwiające przemieszczanie się na duże odległości. Znaczący postęp technologiczny doprowadza do zmniejszania zużycia energii pojedynczego podzespołu, lecz zwiększenie liczby tych podzespołów powoduje globalny wzrost energochłonności całego urządzenia. Duża ilość energii jest bezpowrotnie tracona w procesach zachodzących w urządzeniu. Dlatego też istnieje potrzeba adopcji nowych rozwiązań tech-

nologicznych poprawiających możliwości mobilnych magazynów energii oraz obniżania kosztów budowy i eksploatacji urządzeń.

Typowymi magazynami energii w pojazdach są akumulatory energii elektrycznej, mechanicznej lub chemicznej (rys. 1). Zbiorniki na paliwo przechowują energię w postaci płynu podawanego procesowi spalania w silniku, czego skutkiem jest energia napędzająca pojazd. Technologia akumulacji energii w zbiorniku paliwa i jej przemiany jest dziś wysoce rozwinięta dla silników nisko- i wysokoprężnych. Każdy ze znanych akumulatorów można rozpatrywać pod względem sprawności w przemianie energetycznej oraz pod względem ekonomicznym i dostępności technologicznej. Niestety zasoby paliw kopalnianych nie są wieczne i konieczne jest poszukiwanie alternatywnych źródeł i współpracujących z nimi napędów.



Rys. 1. Metody akumulacji energii [1]

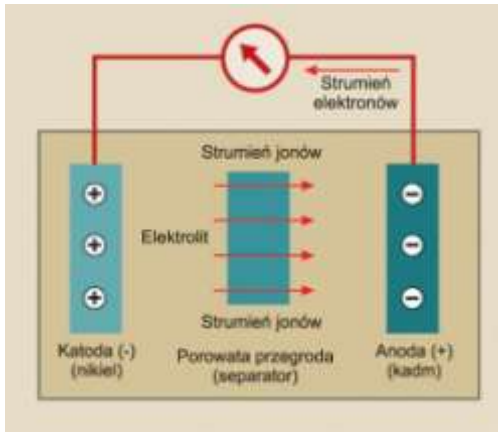
1. Akumulatory chemiczne

Obecnie najczęściej używanym w pojazdach, ale i zarazem najstarszym akumulatorem jest akumulator kwasowo ołowiowy z ciekłym elektrolitem. Składa się on z kilku płyt ołowianych zanurzonych w elektrolicie (elektrody z metalicznego ołowiu oraz dwutlenku ołowiu). Wymuszenie jednokierunkowego przepływu prądu przez zewnętrzne źródło w akumulatorze powoduje, że na jego biegunach gromadzą się ładunki o przeciwnych znakach. Podczas procesu odwrotnego zgromadzone w akumu-

latorze ładunki wymuszają przepływ prądu w obwodzie zamkniętym.

Akumulatory siarkowo-ołowiowe posiadają pewne zalety ale i również liczne wady. Rozwój technologiczny takiego akumulatora osiągnął już stan końcowy i raczej w takiej postaci nie ma on przed sobą świetlanej przyszłości. Dlatego też opracowywane są nowe technologie akumulacji energii elektrycznej w źródłach chemicznych. Pojawiają się coraz to nowsze akumulatory: sodowo-siarkowe, wanadowe, cynkowo-bromowe, litowo-jonowe, cynkowo-kadmowe, niklowo-kadmowe (rys. 2), niklo-

wo-metalowo-wodorowe, jak i akumulatory powietrzne (np. aluminiowo-powietrzne).

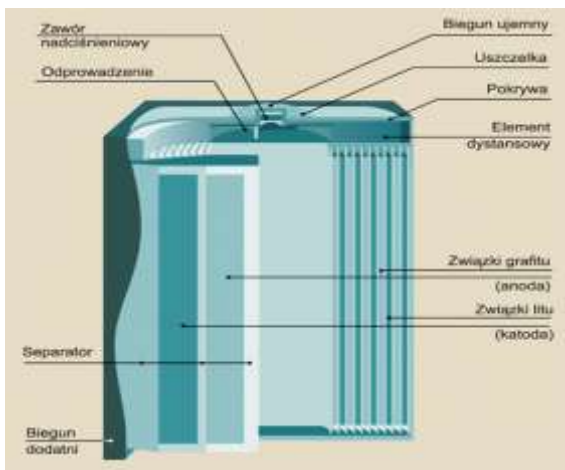


Rys. 2. Przykładowe ogniwo chemiczne typu NiCd

Źródło: strona http://www.fatchicks.listy.info.pl/Technologie_akumulatorow.html

2

Akumulator litowo-jonowy (rys. 3) wyróżnia się tym, że wytwarza napięcie równe 3,6 V zamiast 1,2 V (akumulatory NiCd, NiMH, itd). Wynika to z jego budowy. Katoda wykonana jest ze związków litu (może zawierać tlenek kobaltu, manganu lub niklu), natomiast anoda - ze związków grafitu. Nieprzepuszczalna membrana z tworzywa sztucznego stanowi separator. Elektrolitem jest ciecz zawierająca sól litu.



Rys. 3. Przykładowe ogniwo chemiczne typu Li-Ion

Źródło: strona http://www.fatchicks.listy.info.pl/Technologie_akumulatorow.html

3

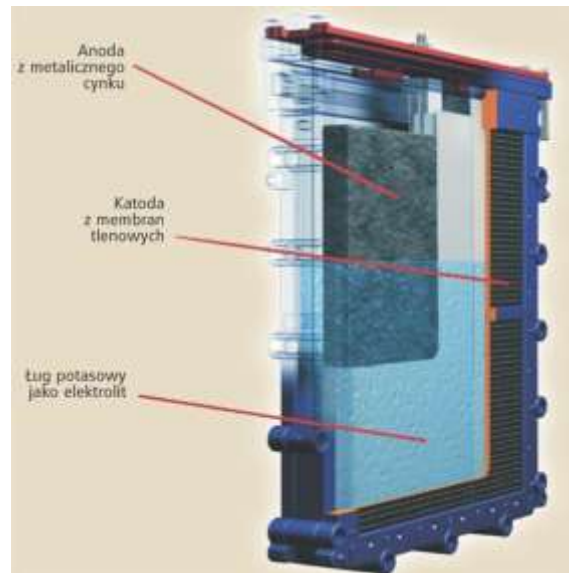
Niestety lit to silnie reagujący metal lekki a więc mocno narażony łatwopalny materiał, który może eksplodować. Dlatego

Tab. 1. Parametry współczesnych akumulatorów (wartości orientacyjne) według [2]

	Litowe Litowo-Polimerowe	Ni-Cd	NiMH	Ołowiowe	Cynkowo-Powietrzne
Napięcie ogniwa [V]	3,6 - 3,7	1,2	1,2	2,0	1,4
Pojemność [mAh]	<1000	1000	2000	>1000	b.d.
Energia właściwa [Wh/kg]	90 - 110	40 - 60	60 - 80	30 - 50	200 - 350
Gęstość energetyczna	250 - 350	80 - 200	200 - 300	60 - 100	<500

też w obecnie produkowanych akumulatorach tego typu, używa się mniejszej ilości elektrolitu, oraz wyposaża się je w specjalne zabezpieczenia i szczególnie solidną budowę. Jego zaletą jest wysoka energia właściwa rzędu 90 - 110 Wh/kg. Dodatkowo posiada długi czas okres przechowywania bez ponownego ładowania. Szczególną jego zaletą jest brak efektu pamięci i efektu leniwego akumulatora. W całym okresie rozładowania dostarczają niemal stałego napięcia, ponad 3,6 V.

Jednym z akumulatorów powietrznych jest akumulator cynkowo-powietrzny. Prąd elektryczny wytwarzany jest w nim poprzez łączenie w ciekłym elektrolicie cynku i tlenu atmosferycznego, czego konsekwencją jest wydzielanie się tlenku cynku, jako produktu ubocznego przemiany. W trakcie ładowania proces podlega odwróceniu. Regeneracji podlega metaliczny cynk oraz uzyskiwany jest tlen. Cynk, tlen potasowy i tlen z powietrza to trzy podstawowe składniki, służące do wytwarzania energii w akumulatorze cynkowo-powietrzny (rys. 4).



Rys. 4. Ogniwo chemiczne cynkowo-powietrzne

Źródło: strona http://www.fatchicks.listy.info.pl/Technologie_akumulatorow.html

4

Wadą akumulatora cynkowo powietrznego jest to, że tworzy otwarty system chemiczny. Skutkuje to tym, iż nie można stosować go w pomieszczeniach zamkniętych. Potrzebny jest stały dopływ powietrza z otoczenia, a podczas ładowania uwalniany tlen musi zostać odprowadzony. Za to jego zaletą jest małe samorozładowanie w stanie zamkniętym. Nawet do 10 lat może on być przechowywany bez elektrolitu. W akumulatorze tym występuje bardzo duża pojemność elektryczna wynosząca nawet trzykrotność akumulatora litowo jonowego. Ponadto jak w akumulatorze litowym nie występują żadne zjawiska niepożądane takie jak efekt pamięci czy efekt leniwego akumulatora.

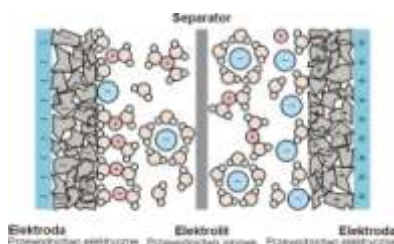
[Wh/l]					
Napięcie rozładowania [V]	2,5	0	0,8	1,7	b.d.
Napięcie ładowania [V]	4,1 - 4,2	-	-	2,4	b.d.
Liczba cykli ładowania	500 - 800	500 - 800	300 - 500	200 - 300	b.d.
Przebieg napięcia rozładowania pod obciążeniem	Niemal poziomy	spadający	Lekko spadający	Mocno spadający	b.d.
Samorozładowanie (w cyklu miesięcznym)	Niskie, poniżej 10%	Średnie 20%	Wysokie 30%	Niskie, poniżej 10%	b.d.
Obciążalność przy rozładowaniu (krotność pojemności znamionowej)	3	20	10	10	b.d.
Szybkie ładowanie [min]	120	10	30	b.d.	b.d.
Materiał elektrody ujemnej	LiC ₆	Cd	MH	Pb	Zn
Materiał elektrody dodatniej	LiCoO ₂	NiOOH	NiOOH	PbO ₂	C(O ₂)
Zalecany stan przy długim przechowywaniu	Naładowany (w pełni)	Rozładowany	Naładowany	Naładowany	Rozładowany (nieaktywny)
Obciążalność mechaniczna	Bardzo mała	Bardzo wysoka	Srednia	Wysoka	b.d.
Cena	Bardzo wysoka	Korzystna	Wysoka	Bardzo korzystna	b.d.

Tab. 2. Porównanie technologii stosowanych w akumulatorach chemicznych według [2]

	Zalety	Wady	Kierunki działań usprawniających
Kwasowo-olowiowe	Technologia ogólnie dostępna, stosunkowo długi okres eksploatacji	Wymagają obsługi i nadzoru technicznego, mała gęstość mocy i energii, kosztowny recykling, wpływ temperatury na pojemność baterii	Zwiększenie odporności na zmiany temperatury, opracowywanie procedur bezpiecznej eksploatacji
Sodowo-siarkowe (Na-S)	Technologia ogólnie dostępna, duża gęstość mocy i energii, duża sprawność	Droga technologia, wysoka temperatura pracy	Obniżenie kosztów
Wanadowe (VRB)	Duża gęstość mocy i energii, przeznaczone do dużych aplikacji	Technologia na etapie rozwoju, droga technologia	Obniżenie kosztów, usprawnienie procesów standaryzacji
Cynkowo-bromowe (Zn-Br)	Duża gęstość mocy i energii, przeznaczone do dużych aplikacji	Technologia na etapie rozwoju, duże koszty utrzymania ruchu, zawiera materiały łatwo-korodujące i toksyczne	Obniżenie kosztów, usprawnienie procesów kontroli i nadzoru, poprawa procedur bezpiecznej eksploatacji
Litowo-jonowe (Li-Ion)	Duża gęstość mocy i energii, duża sprawność	Technologia na etapie rozwoju, droga technologia, trudności w eksploatacji	Obniżenie kosztów, usprawnienie procesów kontroli i nadzoru, zwiększenie odporności na zmiany temperatury
Niklowo-kadmowe (NiCd)	Technologia ogólnie dostępna, duża wytrzymałość mechaniczna, duża gęstość energii, długi okres eksploatacji	Droga technologia, zawiera materiały toksyczne	Obniżenie kosztów, usprawnienie procesów recyklingu
Niklowo-wodorkowy (NiMH)	Technologia ogólnie dostępna, duża wytrzymałość mechaniczna, duża gęstość energii, długi okres eksploatacji, mniejsza liczba związków toksycznych w porównaniu z bateriami NiCd	Droga technologia	Obniżenie kosztów, usprawnienie systemu procesów recyklingu

2. Superkondensatory

Fundamentalnym problemem związanym z magazynowaniem i odzyskiwaniem energii w urządzeniach mobilnych są gabarytowe ograniczenia akumulatorów oraz długotrwały proces ładowania. Są one duże, ciężkie, mają ograniczoną szybkość ładowania i wymagają odpowiednich warunków konserwacji. Większości tych problemów pozbawione są superkondensatory (rys. 5).



Rys. 5. Struktura superkondensatora z warstwą podwójną [3]

Źródło: serwis <http://elektronikab2b.pl>

5

Posiadają one wysoką żywotność (ok. 1 mln cykli). Gdyby technologia umożliwiła jego zastosowanie w samochodzie elektrycznym, czas jego życia mógłby być dłuższy niż samego samochodu. Dodatkowo mogą działać w niskich temperaturach dochodzących do -40°C , mają wysoka sprawność rzędu 84-95%, szybko magazynują i oddają energię.

Poważną wadą superkondensatorów starej technologii jest ich mało satysfakcjonująca pojemność przypadająca na jednostkę zajmowanej powierzchni ($16 - 50 \mu\text{F}/\text{cm}^2$).

Zasada działania superkondensatora oparta jest na podwójnej warstwie elektrolitu [3]. Mimo iż jest to urządzenie elektrochemiczne to w procesie magazynowania energii elektrycznej nie biorą udziału żadne reakcje chemiczne (rys. 5). Składa się on z dwóch niereaktywnych porowatych elektrod z elektrolitem, pomiędzy które przyłożona jest różnica potencjałów. Do dodatniej płyty przyciągane są jony ujemne, a do ujemnej jony dodatnie. Powstają zatem dwie warstwy oddzielonych od siebie ładunków. Pojemność każdego kondensatora jest proporcjonalna

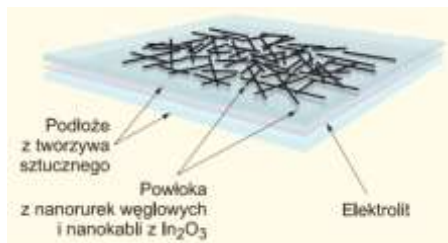
do powierzchni elektrod, a odwrotnie proporcjonalna do odległości pomiędzy nimi. Porowate powierzchnie zwiększają powierzchnię czynną płyt superkondensatora. Ich powierzchnia dochodzi do 3000 m²/g, znacznie przewyższając powierzchnię kondensatora konwencjonalnego. Odległość oddzielającą ładunki wyznacza rozmiar znajdujących się w elektrolicie jonów, przyciągniętych przez elektrodę. Nie przekracza ona kilku nanometrów i jest znacznie mniejsza od osiągalnej przy użyciu konwencjonalnych materiałów dielektrycznych. Powyższe właściwości umożliwiają otrzymanie olbrzymiej pojemności na jednostkę powierzchni (nawet tysiące faradów w objętości szklanki). Wynika to z faktu, że pojemność i energia kondensatora są wprost proporcjonalne do powierzchni elektrod, zgodnie z zależnościami:

$$C = \epsilon \frac{S}{d}, E = \frac{CU^2}{2}, \quad (1)$$

gdzie:

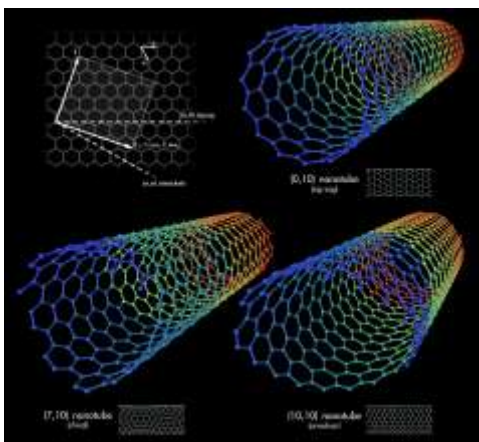
- ϵ – współczynnik przenikalności,
- S – powierzchnia elektrod,
- d – odległość pomiędzy elektrodami.

Współczesna technologia umożliwia budowę elektrod z przewodzącego prąd aktywnego węgla o strukturze podobnej do gąbki. W tej technologii duże powierzchnie elektrod uzyskuje się przy zastosowaniu nanorurek węglowych (rys. 6) ze zwiniętego grafenu (jednoatomowa warstwa grafitu). Nanorurki węglowe charakteryzują się dużą powierzchnią oraz wysokim przewodnictwem elektrycznym (rys. 7).



Rys. 6. Schemat budowy superkondensatora grafenowego

Źródło: serwis <http://elektronikab2b.pl>



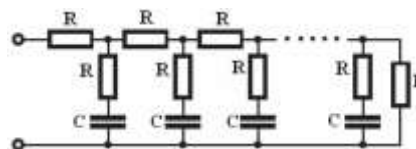
Rys. 7. Trójwymiarowe modele struktury jednowarstwowych nanorurek węglowych [3]

Superkondensator posiada dwie takie same elektrody, które są oddzielone od siebie elektrycznie porowatą membraną – separatorem, którym jest cienka porowata folia z tworzywa sztucznego. Separator nie pełni roli dielektryka, jedynie umożliwia bezpośrednie zwarcie elektryczne obu węglowych elektrod. Nie stanowi on żadnej przeszkody dla jonów, przepuszczając je w kierunku odpowiednich elektrod, jeśli tylko dołączone zostanie napięcie. Każda elektroda, jest bryłą węgla aktywnego nasączonego ciekiem elektrolitem, którym jest najczęściej roztwór kwasu siarkowego. Warstwa elektrolitu jest podwójna. Jony znajdujące się w elektrolicie, są oddalone między sobą o bardzo małe odległości (rzędu kilku nanometrów). Wpływa to bezpośrednio na odległość między elektrodami, która również jest bardzo mała. Superkondensator nie posiada dielektryka, a jego rolę pełnią obszary styku pomiędzy przewodzącym elektrolitem, a przewodzącymi elektrodami.

Tab. 3. Różnice pomiędzy superkondensatorem, a kondensatorem elektrolitycznym **3**

	Superkondensator	Kondensator elektrolityczny
elektrody	Węgiel aktywny	Zwinięte w rulonik paski blachy aluminiowej
przedzielenie elektrod	Tak – separator (porowata folia z tworzywa sztucznego)	Tak – warstewka papieru (bibułka)
dielektryk	Brak	Tak – umieszczony na anodzie tlenek glinu
elektrolit	Tak	Tak – pełni rolę jednej z elektrod

Cechą charakterystyczną budowy superkondensatora jest fakt, że odległości pomiędzy poszczególnymi obszarami elektrod są różne, czasami znaczne. Do tego rezystancja wewnętrzna superkondensatora jest rozproszona (rys. 8).



Rys. 8. Model zastępczy superkondensatora

Ze względu na duże pojemności i czas trwania cyklu ładowania/rozładowania superkondensatorów możliwe jest osiągnięcie bardzo dużych gęstości mocy, znacznie przewyższających moce współczesnych akumulatorów. Moce te osiągają wartości 1 – 10 kW/kg. Są to wartości o rząd większe niż w przypadku nowoczesnych akumulatorów. Jednak w porównaniu z tradycyjnymi kondensatorami ich pojemność, czas ładowania i rozładowania są znacznie większe. Potrzeba kilkanaście, a nawet kilkadziesiąt sekund, aby zostały naładowane najdalsze obszary elektrod. Dzieje się tak ze względu na problem dużego rozproszenia rezystancji wewnętrznej (rys. 8).

W porównaniu z akumulatorami chemicznymi czas ładowania i rozładowania jest znacznie mniejszy, a wartości prądu są o wiele większe, co jest spowodowane głównie o wiele mniejszą wartością rezystancji ESR [5] oraz faktem, że, w superkondensatorze nie zachodzą długoczasowe reakcje chemiczne. Kolejną charakterystyczną właściwością jest gęstość energii. Jej wartość jest mniejsza o rząd wielkości niż w przypadku nowo-

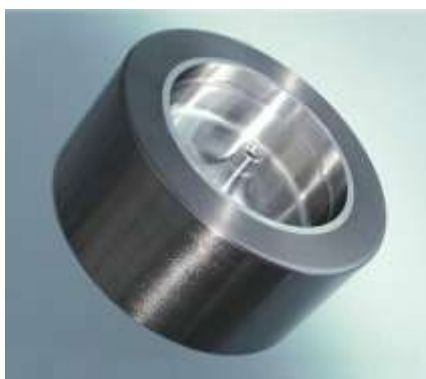
czesnych akumulatorów, które osiągają wartości rzędu, 10 –100 Wh/kg. Wynika stąd, że superkondensatory można stosować w aplikacjach charakteryzujących się niezbyt dużą energią przy dużych wartościach mocy. Są to typowe obciążenia o charakterze impulsowym.

Dopuszczalne napięcie pracy superkondensatora wynosi od 2 do 3 V. Przekroczenie tej wartości może spowodować powstanie elektrolizy i ostatecznie wybuch - pod wpływem powstających gazów. W celu zwiększenia napięcia pracy stosuje się baterie łączone szeregowo, jednak powoduje to zmniejszenie pojemności układu.

Superkondensatory w zastosowaniach samochodowych są długowieczne. Mogą dostarczać dużej mocy w szerokim zakresie temperatur przy małych wymaganiach serwisowych. Z uwagi na ich małą dostępność i wysoki koszt nie były one dotychczas używane w przemyśle motoryzacyjnym. Dzięki ich coraz szerszemu zastosowaniu w elektronice i przemyśle ich dostępność wzrasta.

3. Akumulator kinetyczny

Akumulatory mechaniczne kinetyczne to inercyjne (żyroskopowe) akumulatory energii. Elementem akumulującym energię jest wirujący bezwładnik. Stan naładowania bezwładnika to jego wysokie prędkości obrotowe rzędu kilkudziesięciu tysięcy obrotów na minutę. Teoretyczne aspekty działania tego akumulatora mechanicznego są zbliżone do zasady koła zamachowego. Ze względu na wymaganą dużą pojemność energetyczną oraz dużą gęstość magazynowania energii inercyjne akumulatory charakteryzują się bardziej złożoną konstrukcją niż koło zamachowe. Wymagana jest możliwie największa sprawność, co prowadzi do wyposażenia go w wysokiej jakości łożyska oraz dodatkowe urządzenia pomocnicze mające na celu zmniejszenie strat energii. Podstawowym elementem tego akumulatora jest wirnik (bezwładnik). Na sprawność akumulowania energii ma wpływ jego kształt, rozkład masy, dopuszczalne maksymalne naprężenia oraz opór aerodynamiczny.



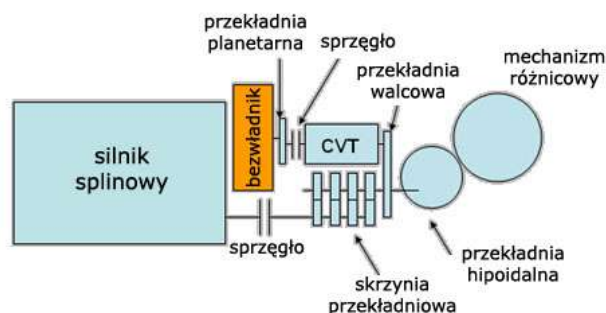
Rys. 9. Wirujące koło zamachowe firmy Flybrid

Źródło: <http://www.akumulatory-info.pl/akumulatory-kinetyczne.html>

Wirująca masa obciążona jest dużymi siłami rozrywającymi powodującymi naprężenia strefowe, które osiągają największe wartości na długości promienia. Element wirujący ma maksymalną prędkość obrotową, którą jest w stanie wytrzymać. Zależy ona od wytrzymałości materiału elementu wirującego oraz od jego kształtu. W najnowszych konstrukcjach jako materiał bezwładnika stosuje się kompozyty włókniste, charakteryzujące się większą wytrzymałością od stali oraz mniejszą masą właściwą.

Brytyjska firma Flybrid System LLP przedstawiła aplikację akumulatora inercyjnego wraz z mechanicznym układem do-

starczania i pobierania energii z akumulatora. Urządzenie to jest dedykowane do pojazdów Formuły 1, w których część energii hamowania zostaje odzyskana. Urządzenie to nosi nazwę KERS (ang. Kinetic Energy Recovery System), czyli system odzyskiwania energii kinetycznej (rys. 10 i 11).



Rys. 10. Schemat działania systemu KERS

Źródło: <http://www.akumulatory-info.pl/akumulatory-kinetyczne.html>

W akumulatorze KERS zastosowano 5 kg bezwładnik. Obręcz bezwładnika wykonana jest ze stali z nałożonym pierścieniem wykonanym z włókna węglowego (rys. 9). Koło to porusza się z prędkością do 64 500 obr/min, co odpowiada zgromadzeniu 400 kJ energii użytecznej. Gromadzenie energii przebiega w trakcie hamowania pojazdu, zaś oddawanie w czasie jego rozpędzania. System KERS wspomaga w sposób równoległy pracę silnika spalinowego. W celu mechanicznego połączenia kół samochodu z wirującą masą oraz kontroli prędkości obrotowej i momentu obrotowego konieczne jest zastosowanie rozbudowanego układu przeniesienia napędu.



Rys. 11. Elektryczne koło zamachowe Williamsa stosowane w samochodach sportowych

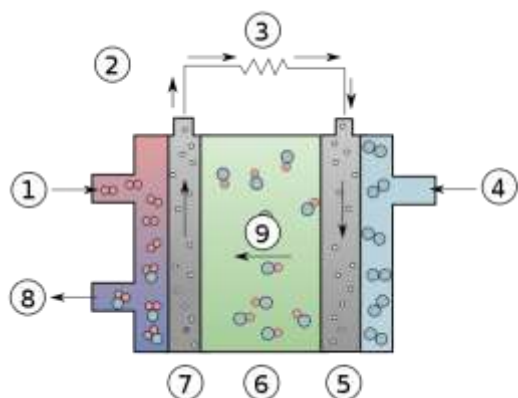
Źródło: <http://gazeo.pl/samochody-hybradowe-elektryczne/samochody-hybradowe/Od-kola-garmcarskiego-do-systemu-KERS,artykul,6798.html>

Wał wirującego bezwładnika (rys. 10) połączony jest z przekładnią planetarną redukującą prędkość obrotową. Napęd przekazywany jest przez sprzęgło cienne do bezstopniowej przekładni CVT. Przekładnia ta służy do sterowania przepływem mocy poprzez bezstopniową zmianę przełożenia. Zmiana przełożenia decyduje o tym czy akumulator kinetyczny jest napędzany i pochłania energię, czy oddaje ją do układu napędowego. Za pomocą przekładni walcowej moment napędowy przenoszony jest na wałek atakujący przekładni hipoidalnej, gdzie sumuje się z momentem obrotowym generowanym przez silnik spalinowy. Sterowanie całym układem przeniesienia napędu odbywa się poprzez elektroniczną jednostkę sterującą.

Aby zmniejszyć tarcie występujące przy wysokich prędkościach obrotowych, wirnik zawieszony jest na łożyskach magnetycznych. W celu zminimalizowania oporu aerodynamicznego, powietrze jest wypompowywane z przestrzeni wokół bezwładnika za pomocą pompy próżniowej.

Ogniwa paliwowe

Ogniwo paliwowe jest urządzeniem elektrochemicznym, które wytwarzają energię użyteczną (elektryczność, ciepło) poprzez reakcję chemiczną (proces zimnego spalania wodoru z tlenem). Efektem ubocznym w tej przemianie jest woda. Do tego urządzenia nieprzerwanie dostarczany musi być wodór w czystej postaci lub w mieszaninie z innymi gazami. Zapewnienie nieprzerwanego strumienia tego paliwa wymusza zmagazynowanie go w odpowiednim zbiorniku w pojeździe. Proces zimnego spalania przebiega następująco [6]:

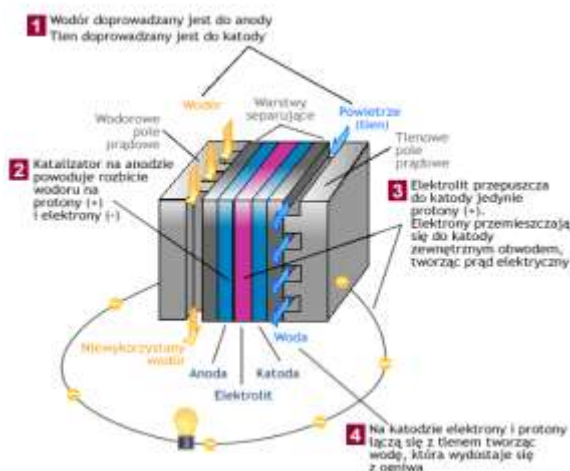


Rys. 12. Budowa ogniw paliwowych [6], 1 - wlot wodoru, 2 - przepływ elektronów, 3 - odbiornik energii, 4 - wlot tlenu, 5 - katoda, 6 - elektrolit, 7 - anoda, 8 - wylot wody, 9 - jony wodorotlenkowe

Na katodzie ogniw paliwowych znajduje się tlen, a wodór na anodzie. Membrana paliwowa (półprzewodzący element wykonany na bazie polimeru, który przepuszcza jedynie jony wodoru zapobiegającemu przedwczesnemu połączeniu się wodoru i tlenu w wodę) rozdziela wodór na jony i elektrony. Jony przenikają przez membranę i starają się połączyć z tlenem tworząc wodę, lecz nie jest to możliwe z powodu zatrzymania elektronów. Gdy obwód katody i anody połączony jest z odbiornikiem, zaczyna płynąć prąd i wyrównaniu ulega poziom elektronów. Proces przebiega do momentu całkowitego zużycia czynnika reakcji.

Ogromną zaletą ogniw paliwowych jest to, że w bardzo niewielkim stopniu zanieczyszczają powietrze. Spaliny w nich zawarte składają się wyłącznie z pary wodnej, obojętnej dla środowiska. Jedynym problemem jest pozyskanie i zmagazynowanie wodoru. Zbiorniki muszą składać się z wytrzymałych materiałów, zdolnych wytrzymać duże ciśnienie panujące w zbiorniku.

Energia dostarczana przez ogniwa paliwowe jest odporna na zakłócenia. Charakteryzują się one wysoką gęstością energetyczną. Ogniwo paliwowe jest mniejsze i lżejsze od innych źródeł energii o porównywalnej mocy. Generują energię bezpośrednio z reakcji chemicznej, nie zachodzi więc proces spalania paliwa.

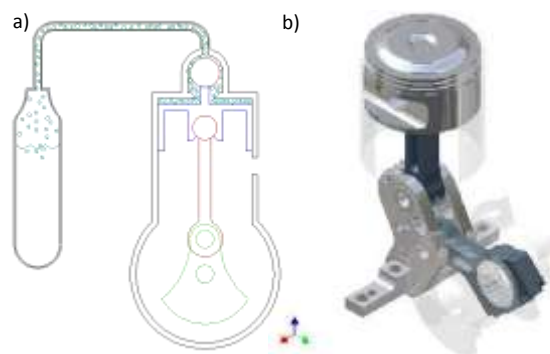


Rys. 13. Przepływ czynników roboczych w ogniwie paliwowym
Źródło: <http://www.ogniwa-paliwowe.com/>

W zastosowaniach mobilnych ogniwa paliwowe wytwarzają energię służącą bezpośrednio do napędu, w przeciwieństwie do silników spalinowych gdzie wytwarzana jest energia mechaniczna przekształcana przez przekładnię mechaniczną do energii napędowej. Sprawność ogniw paliwowych w generowaniu energii elektrycznej osiąga nawet 50%. W procesie kogeneracji, produkcji energii elektrycznej i ciepła, ogniwa paliwowe osiągają sprawność nawet 85%.

Sprężone powietrze

W Europie opracowano samochód, który w baku nie ma benzyny, oleju napędowego, wodoru, gazu LPG, ale zwykłe sprężone powietrze atmosferyczne. Samochód nie emituje żadnych zanieczyszczeń, a powietrze, które przy kompresowaniu przechodzi przez filtry, jest po wyjściu z rury wydechowej nawet czystsze od tego atmosferycznego. Źródło pomysłu na tego typu pojazd ma polskie korzenie.



Rys. 14. Budowa silnika na sprężone powietrze (a), widok tłoków i korbowodów w układzie cylindrów typu "bokser" (b)
Źródło: http://darmowa-energia.eko.org.pl/pliki/ekoauto/spr_pow.html

Tłok w górnym położeniu cylindra (rys. 14a) otwiera zawór kulowy, przez co sprężone powietrze napływa do cylindra i wywiera ciśnienie na jego denko. Tłok zaczyna poruszać się w dół wprowadzając w obrót wał przenosząc siłę nacisku przez

korbowód. Zawór kulowy przy ruchu w dół tłoka zamyka się, jednak powietrze dalej się rozpręża i wywiera siłę na tłok. W dolnym punkcie ruchu tłok odsłania okno wylotowe cylindra wypuszczając powietrze na zewnątrz. Wprawiony w ruch wał siłą bezwładności popycha tłok do góry zamykając okno wylotowe. W cylindrze są tylko niewielkie pozostałości powietrza, więc tłok porusza się, aż ponownie otworzy zawór kulowy i cały cykl się powtórzy. Rolę zbiornika paliwa pełni butla ze sprężonym powietrzem. Aby zwiększyć wydajność zastosowano zmodyfikowany układ korbowy silnika (rys. 14b). Dzięki dodaniu kolejnej dźwigni w połowie korbowodu, tłok w górnym położeniu pozostaje dłużej, dzięki czemu powietrze ma więcej czasu na wypełnienie cylindra. Część "zużytego" powietrza z poprzedniego cyklu pozostaje w cylindrze, dzięki czemu świeża dawka powietrza ogrzewa się od poprzedniego i zwiększa siłę rozprężania. Ruch tłoka do góry jest znacznie krótszy od ruchu w dół cylindra, kiedy wykonywana jest praca. Wszystko to powoduje, że sprawność silnika w warunkach miejskich jest dwukrotnie większa od silnika benzynowego. W silniku nie zachodzi spalanie, więc pracuje on w niskiej temperaturze.

Silnik może pracować w kierunku odwrotnym, czyli jako sprężarka. Zamontowany silniko-alternator umożliwia tankowanie powietrzem na 2 sposoby: albo ze stacji gdzie mają gotowe sprężone powietrze - tankowanie trwa wtedy ok. 3 minut, albo podłączając samochód do gniazdka z prądem - silniko-alternator pracuje wtedy jako silnik elektryczny i napędza silnik pneumatyczny samochodu, który pracuje wtedy jako sprężarka i napełnia zbiorniki powietrzem z atmosfery. Tankowanie do pełna trwa wtedy 4 godz., ale dzięki temu, pojazd nie jest całkowicie uzależniony od stacji ze sprężonym powietrzem.



Rys. 15. Jeden z modeli samochodów na sprężone powietrze produkowanych przez firmę MiniCAT

W porównaniu do samochodów elektrycznych pojazdy takie są lżejsze (waga akumulatorów). Dysponują większym zasięgiem od aut elektrycznych, tankowanie ze stacji trwa tylko 3 minuty, a z wykorzystaniem gniazdka elektrycznego 4 godziny. Po wyeksploatowaniu samochodu nie trzeba martwić się o utylizację akumulatorów.

Wadą jest duże ciśnienie zbiorników z powietrzem, co w przypadku kraksy mogłoby się skończyć ich wybuchem, lecz tę samą wadę mają pojazdy na benzynę lub wodór, które są dodatkowo substancjami palnymi. W pojazdach szczególnie miejskich to rozwiązanie może mieć świetlaną przyszłość.

Wnioski

Przedstawiony przegląd metod akumulacji energii umożliwia analizę obecnego stanu techniki. Przy rosnących cenach eksploatacyjnych tradycyjnych systemów napędowych, można spodziewać się wzrostu zainteresowania alternatywnymi rozwiązaniami technologicznymi. Już dziś obserwujemy pierwsze gotowe opracowania takich pojazdów. Jednakże na pytanie: "które rozwiązanie technologiczne znajdzie swoją realizację w skali masowej?" - pozostaje bez odpowiedzi. Przypuszczać można wielokierunkowość rozwoju techniki, chyba że współczesny wiodący potentat narzuci technologię i zmniejszy koszty eksploatacyjne pojazdu.

Bibliografia

1. Iwanicki M.: *Sposoby magazynowania energii elektrycznej*. Wiadomości Elektrotechniczne 5/2013 s.32
2. Kłos M. i inni: *Baterie akumulatorów jako magazyny energii elektrycznej w systemach elektroenergetycznych*. Wiadomości Elektrotechniczne 8/2013 s.46
3. Koseda H., Głowacki F.: *Możliwości zastosowania superkondensatorów do poprawy jakości energii elektrycznej w inteligentnych sieciach elektroenergetycznych smart grid*. Wiadomości Elektrotechniczne 1/2013 s.29
4. Lisowska-Oleksiak A., Nowak A., Wilanowska M.: *Superkondensatory jako materiały do magazynowania energii*. ActaEnergetica 2011 s.71-79
5. Schroeder G.: *Chemiczna funkcjonalizacja powierzchni dla potrzeb nanotechnologii*. Cursiva, Poznań (2011)
6. Strojny J.: *Magazynowanie energii elektrycznej*. ElektroPlus 3/2012 (24) s.34-37
7. Łyskojć D., Duer S., Zajkowski K., Sokołowski S.: *Ekologiczne napędy pojazdów z układami odzysku energii*. AUTOBUSY 5/2012 s.279-283

The selected modern methods of energy storage in mobile devices

Abstract

The article presents an overview of the methods of energy storage to the needs of mobile devices, especially in vehicles. Discussed current technologies and quoted examples of solutions. This paper allows you to compare today's energy storage techniques, through discussion of the advantages and disadvantages of each method.

Key words: accumulation of energy, graphene, chemical and kinetic battery, supercapacitor.

Autorzy:

Dr inż **Konrad Zajkowski** – Politechnika Koszalińska

Piotr Zieliński – Politechnika Koszalińska