

## Rozwój pojazdów użytkowych i maszyn roboczych o napędzie hybrydowym

### Streszczenie

Panujące obecnie trendy mające na celu ochronę środowiska przyczyniły się do rozwoju nowych układów napędowych mających na celu zmniejszenie emisji dwutlenku węgla oraz szkodliwych substancji. W artykule przedstawiono historię rozwoju pojazdów o napędzie hybrydowym oraz przykłady ich zastosowań.

### Summary

Present trends aiming at environment protection contributed to a development of new drive systems to reduce emission of carbon dioxide and hazardous substances. Development of vehicles with hybrid drive as well as examples of their use are presented.

## 1. Wprowadzenie

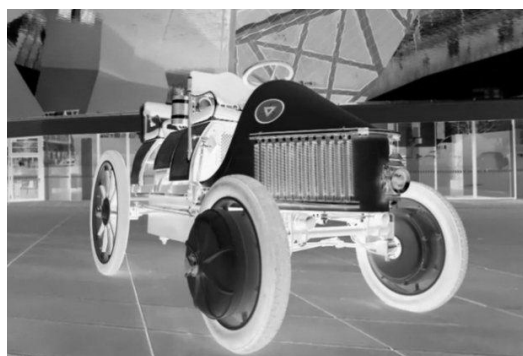
Rosnące ceny paliw oraz zaostrzające się przepisy dotyczące emisji gazów cieplarnianych przyczyniły się do rozwoju nowych, ekonomicznych układów napędowych. W przemyśle transportowym oraz motoryzacyjnym coraz więcej uwagi poświęca się aktualnie pojazdom o napędzie hybrydowym. Pierwszy napęd hybrydowy skonstruowany w 1896 roku przez

Amerikanina Johna Hollanda zastosowano w okręcie podwodnym USS Holland SS-1, który napędzany był silnikiem spalinowym na powierzchni oraz silnikiem elektrycznym po zanurzeniu (rys. 1).

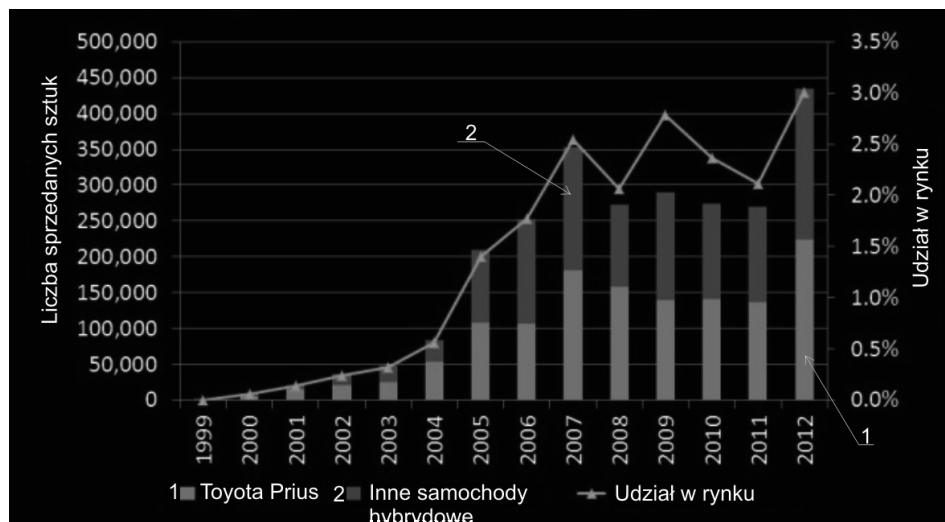
Dopiero 14 lat później, w 1900 roku Ferdinand Porsche zbudował samochód napędzany przez dwa silniki elektryczne zamontowane w piastach przednich kół, które wspomagane były przez silnik spalinowy



Rys.1. Okręt podwodny USS Holland SS-1 [27]



Rys.2. Porsche Semper Vivus [23]



Rys.3. Sprzedaż pojazdów z napędem hybrydowym na rynku amerykańskim w latach 1999-2012 [28]

(rysunek 2). W samochodzie zabudowano baterię akumulatorów składającą się z 44 ogniw o napięciu 80 V, których sumaryczna masa wynosiła 1800 kg.

W kolejnym stuleciu pojazdy o napędzie hybrydowym nie były jednak obiektem zainteresowań. Niemal wszystkie pojazdy napędzane były wyłącznie za pomocą silnika spalinowego. Przełom nastąpił dopiero w 1997 roku, kiedy japoński koncern samochodowy Toyota Motor Corporation przedstawił światu model Prius i rozpoczął produkcję na masową skalę. Znakomite wyniki sprzedaży tego modelu, zwłaszcza w USA sprawiły, że inne koncerny wprowadziły własną ofertę pojazdów hybrydowych. Na rysunku 3 można zauważyć dynamiczny rozwój sprzedaży samochodów osobowych z napędem hybrydowym, który trwał do 2008 roku, czyli do czasu kiedy nastąpił światowy kryzys, w wyniku którego ludzie wstrzymywali się z zakupem nowych samochodów. Tendencja spadkowa utrzymywała się aż do 2012 roku, który był rekordowy w ilości sprzedanych samochodów z napędem hybrydowym. Rozwój nowoczesnych technologii oraz panujące trendy ekologiczne pozwalają prognozować, że w kolejnych latach nastąpi wzrost sprzedaży samochodów z napędem hybrydowym.

## 2. Rozwój elementów napędu hybrydowego

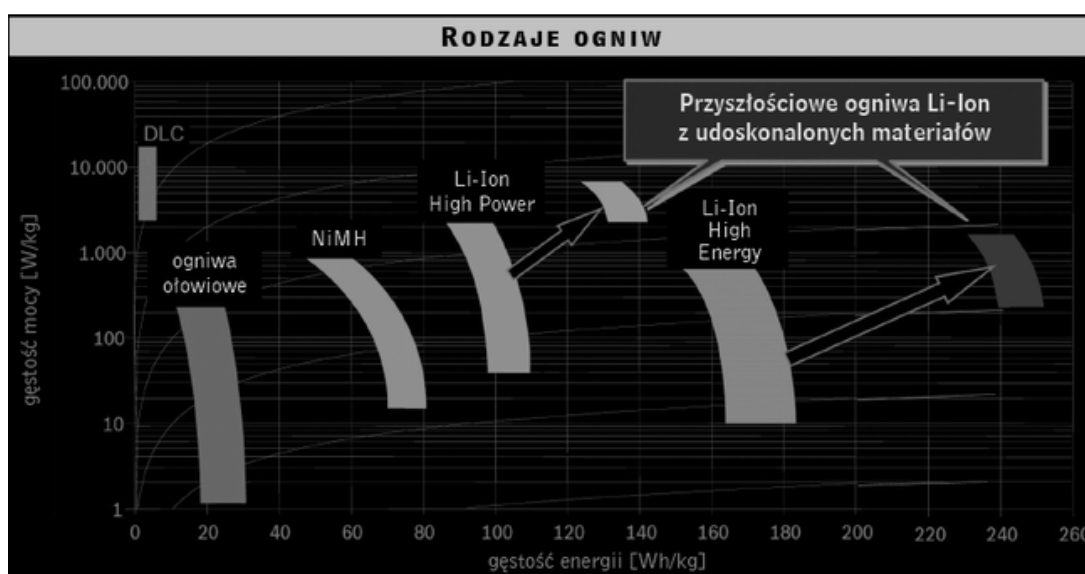
Ciągły rozwój pojazdów hybrydowych wiąże się równocześnie z rozwojem elementów związanych z ich produkcją. Efektem tego jest pojawienie się na rynku coraz lepszych i tańszych komponentów, w szczególności silników elektrycznych oraz akumulatorów. Dzięki temu można sądzić, że parametry samochodów hybrydowych będą coraz lepsze, a ich cena będzie maleć.

## 2.1. Silniki elektryczne

Wykorzystanie silnika elektrycznego do napędzania pojazdów niesie za sobą wiele zalet. Należy zaliczyć do nich przede wszystkim brak wydzielania szkodliwych substancji podczas pracy, cichobieżność, wysoką sprawność oraz pracę w szerokim zakresie prędkości obrotowych. Najlepiej nadającym się silnikiem elektrycznym do napędu pojazdów był od dawna silnik prądu stałego. Miał on jednak szereg wad, które spowodowały konieczność opracowania innego silnika o płynnej regulacji prędkości obrotowej. W związku z tym silniki prądu stałego wyparły silniki indukcyjne zasilane z przekształtników energoelektronicznych. Obecnie najnowocześniejszymi silnikami elektrycznymi stosowanymi w pojazdach hybrydowych i elektrycznych są silniki z magnesami trwałymi. W silnikach tych, w miejsce wirników klatkowych silników indukcyjnych, wprowadzono wirniki z nowoczesnymi magnesami neodymowymi. Zastosowanie silnika elektrycznego w pojazdach pozwala na odzyskanie energii traconej podczas hamowania. W ten sposób część energii, która podczas zwykłego hamowania jest tracona na ciepło, może być zmagazynowana w baterii akumulatorów, a następnie wykorzystana do napędzania pojazdu.

## 2.2. Akumulatory

Do seryjnej produkcji pojazdów elektrycznych, np. lokomotyw stosowano akumulatory kwasowo-ołowiowe. Akumulatory te cechują się jednak małą gęstością energii i wysoką masą, wobec czego nie mogły znaleźć zastosowania w pojazdach hybrydowych, w szczególności w samochodach osobowych. Do produkcji pojazdów hybrydowych przyczyniły się opracowane pod koniec XX wieku akumulatory



Rys.4. Parametry ogniw [3]; NiMH – akumulatory niklowo-metalowo-wodorkowe, Li-Ion High Power – akumulatory litowo-jonowe o dużej gęstości mocy, Li-Ion High Energy – akumulatory litowo-jonowe o dużej gęstości energii

niklowo-metalowo-wodorkowe (NiMH) oraz litowo-jonowe (Li-Ion). Mimo to, głównym problemem do rozwiązania jest wciąż magazynowanie energii zapewniającej odpowiedni zasięg i dynamikę pojazdów. Nawet najnowocześniejsze akumulatory nie zapewniają odpowiednich pojemności, a ponadto są drogie. Samochody osobowe wyposażone w system plug-in, który pozwala doładować akumulatory wprost z sieci energetycznej wymagają długiego procesu ładowania, nawet do kilku godzin. Pojawienie się w przyszłości na rynku akumulatorów, których proces ładowania wynosiłby kilka minut czy nawet sekund nie rozwiąże tego problemu, ponieważ nikt z nas nie dysponuje tak wydajnym źródłem. Przykładowo można rozważyć, że rozładowana bateria akumulatorów o pojemności 50 Ah będzie się ładować przez godzinę prądem o natężeniu 50 A. Chcąc naładować taką baterię akumulatorów w 10 minut wymagany byłby prąd o natężeniu 300 A.

### 2.3. Superkondensatory

Superkondensatory (rys. 5) są nowoczesnymi źródłami energii elektrycznej charakteryzującymi się dużą pojemnością elektryczną. Największą ich zaletą jest krótki czas ładowania i rozładowania, wobec czego stosowane są równoległe z innymi źródłami energii, np. akumulatorami. W pojazdach hybrydowych stosowane są jako dodatkowy zasobnik energii, który przeznaczony jest do krótkotrwałego dostarczenia energii podczas przyspieszania.



Rys.5. Superkondensatory [24]

## 3. Pojazdy z napędem hybrydowym

Napęd hybrydowy jest obecnie w fazie rozwoju. Różne koncerny światowe usiłują zastosować ten rodzaj napędu w swoich pojazdach. Poniżej przedstawiono wybrane modele pojazdów w różnych środkach transportu.

### 3.1. Samochody osobowe

W segmencie samochodów osobowych najpopularniejszym modelem jest obecnie Toyota Prius (rys. 6). Jest to pierwszy masowo produkowany i sprzedawany samochód osobowy tego producenta z napędem hybrydowym. Pierwsza generacja samochodu (NW10) pojawiła się w 1997 roku w Japonii. Obecnie w sprzedaży znajduje się już trzecia generacja tego samochodu (NHW30). W hybrydowym układzie napędowym Toyoty Prius zastosowano silnik spalinowy o pojemności 1497 cm<sup>3</sup> i mocy 78 KM, silnik elektryczny o mocy 50 kW oraz baterię akumulatorów NiMH o napięciu maksymalnym 201 V.



Rys.6. Toyota Prius [14]

### 3.2. Autobusy

Producenci autobusów, tacy jak Volvo i Solaris, od kilku lat mają w swojej ofercie autobusy o napędzie hybrydowym. Przeznaczone są do poruszania się po miastach, gdzie występuje wysoka częstotliwość hamowania i przyspieszania pojazdu. Jak podaje koncern Volvo, dzięki zastosowaniu napędu hybrydowego w autobusach, można zaoszczędzić około 40% paliwa oraz zredukować emisję substancji toksycznych o 50%, w porównaniu z typowymi autobusami miejskimi napędzanymi silnikami spalinowymi. Równoległy, hybrydowy układ napędowy Volvo 7900 (rys. 7), przy dużych prędkościach jazdy, napędza pojazd wyłącznie za pomocą silnika spalinowego, ładując równocześnie baterię akumulatorów litowo-jonowych. Zastosowanie napędu hybrydowego w autobusach cechuje również cichobieżność oraz brak emisji spalin przy ruszaniu, co jest bardzo korzystne, np. podczas ruszania z przystanku, na którym znajdują się ludzie.



Rys.7. Autobus Volvo 7900 Hybrid [16]

### 3.3. Samochody ciężarowe

Napędy hybrydowe w samochodach ciężarowych można zastosować w pojazdach, które pracują z dużą ilością przyspieszeń oraz hamowań, np. śmieciarkach (rys. 8). Napęd hybrydowy śmieciarki Volvo FE stanowi połączenie silnika spalinowego z silnikiem elektrycznym, który jest wykorzystywany do ruszania i rozpędzania pojazdu do prędkości 20 km/h. Przy prędkościach większych niż 20 km/h uruchamia się silnik spalinowy. Po zatrzymaniu się pojazdu silnik spalinowy wyłącza się automatycznie, aby niepotrzebnie nie kontynuować pracy na biegu jałowym. Ładowanie baterii akumulatorów odbywa się podczas procesu hamowania, dzięki czemu cały układ napędowy nadaje się do zastosowań w pojazdach wymagających częstego zatrzymywania się, czyli takich jak śmieciarka. Szacuje się, że zastosowanie napędu hybrydowego w śmieciarkach zmniejszy zużycie paliwa o 20%. Dodatkowo, w najnowszej śmieciarce firmy Volvo zastosowano dodatkowy zestaw akumulatorów, napędzający mechanizm zgniatający śmieci. Baterie akumulatorów w śmieciarkach firmy Volvo ładowane są z sieci elektroenergetycznej podczas nocnego postoju.

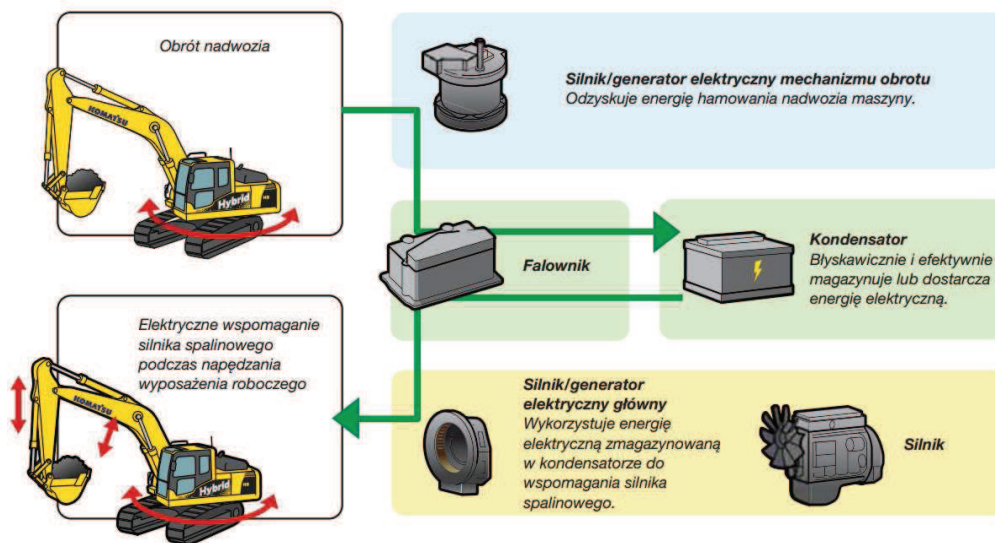


Rys.8. Śmieciarka Volvo FE hybrid [16]

### 3.4. Maszyny robocze

#### 3.4.1. Koparka

Opracowany przez firmę Komatsu układ hybrydowy, zastosowany w koparce HB215LC, (rys. 9) posiada silnik elektryczny mechanizmu obrotu nadwozia, który równocześnie pełni rolę generatora wykorzystując energię hamowania. Odzyskana energia elektryczna jest magazynowana w superkondensatorach i wykorzystywana ponownie zasilając silnik elektryczny, który wspomaga silnik spalinowy podczas napędzania wyposażenia roboczego koparki.



Rys.9. Koparka Komatsu HB215LC hybrid [13]

### 3.4.2. Wózek widłowy

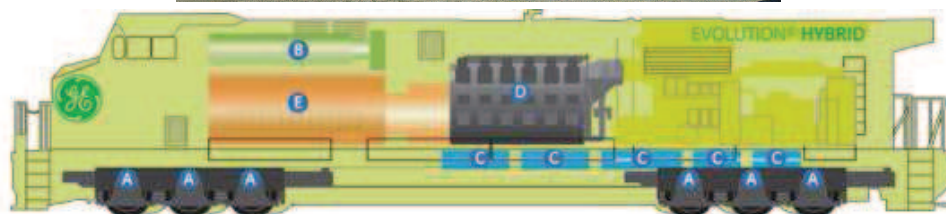
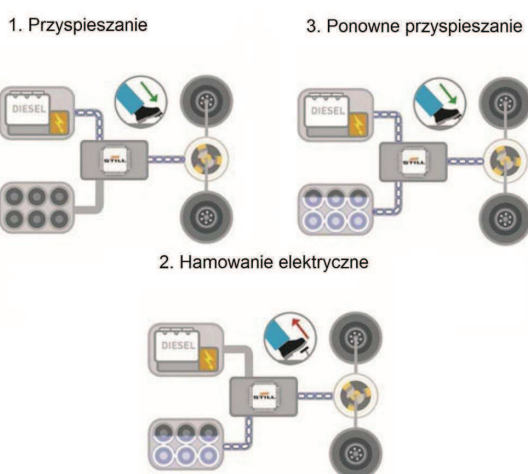
Firma Still posiada w swojej ofercie wózek widłowy RX70 wyposażony w układ hybrydowy (rys. 10). Źródłem napędu wózka jest silnik spalinowy i silnik elektryczny zasilany przez nowoczesne kondensatory dużej mocy, zwane Ultracaps. Innowacyjnym rozwiązaniem jest zastosowanie dwuwarstwowych kondensatorów, które cechują się szybkim czasem reakcji oraz dużą liczbą cykli ładowania. Kondensatory te magazynują energię powstającą podczas hamowania pojazdu. Następnie energia ta wykorzystywana jest podczas przyspieszania. Wózek widłowy RX70 przeznaczony jest do pracy, w której występują częste cykle hamowania i przyspieszania, odciążając tym samym silnik spalinowy o 30%, dzięki czemu oszczędność paliwa wynosi 15%.



Rys.10. Wózek widłowy Still RX70 [1]

### 3.5. Lokomotywy

W ostatnich kilku latach, napęd hybrydowy znalazł zastosowanie również w taborze kolejowym. Trzy firmy - General Electric, Alstom oraz Railpower Technologies Corp zaprezentowały prototypy swoich lokomotyw. Pierwszą z nich, zaprezentowaną w 2007 roku jest lokomotywa General Electric Evolution Hybrid (rys.11). Lokomotywa napędzana silnikiem spalinowym oraz silnikami elektrycznymi, dysponuje mocą wynoszącą 4400 KM. Producent deklaruje, że wykorzystanie napędu hybrydowego zmniejsza zużycie paliwa o 15%, a emisję szkodliwych substancji o 50% w porównaniu do obecnie eksploatowanych lokomotyw.



Rys.11. Lokomotywa General Electric Evolution Hybrid; A – silniki trakcyjne, B – sieć rezystorów, C – akumulatory, D – silnik spalinowy, E – generator elektryczny [25]

### 3.6. Pojazdy wojskowe

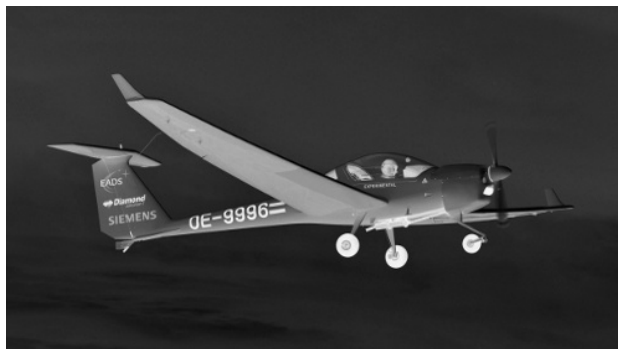
W Polsce, w 2011 roku zakończono prace nad projektem budowy wojskowej platformy gasienicowej APG (rys. 12). Projekt finansowany przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego realizowało konsorcjum naukowo-przemysłowe, w którego skład wchodziła Politechnika Śląska, Akademia Górniczo-Hutnicza, Centrum Produkcji Wojskowej HSW i spółka Wasko. Równoległy, hybrydowy układ napędowy, składający się z dwóch silników elektrycznych oraz silnika spalinowego, zapewnia łączną moc 310 kW. Źródłem energii dla silników elektrycznych jest bateria akumulatorów oraz agregat prądowórczy o mocy 110 kW. Dużą zaletą jest możliwość pracy układu napędowego wykorzystującego do poruszania pojazdu tylko silniki elektryczne. Wykorzystując taki sposób napędu, pojazd zachowuje się bardzo cicho, co może być wykorzystane do skrytego poruszania się. Maksymalna prędkość pojazdu wynosi 75 km/h, wykorzystując do pracy równoległe połączenie silników. Dodatkową zaletą jest możliwość bezałogowego poruszania się pojazdu z wykorzystaniem kamery oraz systemu GPS.



Rys.12. Autonomiczna platforma gasienicowa APG [22]

### 3.7. Samoloty

W 2011 roku podczas targów lotniczych w Paryżu firma Diamond Aircraft wraz z firmą Siemens zaprezentowały samolot o napędzie hybrydowym (rys. 13). Silnik elektryczny o mocy 70 kW połączony jest mechanicznie ze śmigłem samolotu. Silnik podczas wznoszenia się samolotu zasilany jest z baterii akumulatorów oraz z generatora napędzanego przez silnik spalinowy pracujący na stałym poziomie mocy 30 kW. Gdy samolot osiąga określony pułap, układ napędowy zasilany jest tylko za pomocą energii wytworzonej z pomocą generatora, doładowując równocześnie baterię akumulatorów. Dzięki temu rozwiązaniu można ograniczyć emisję spalin i zużycie paliwa o 25%.



Rys.13. Samolot HK36 Super Diamona [26]

### 3.8. Statki

W 2012 roku zakończono w Japonii prace nad budową pierwszego komercyjnego statku transportowego, który wyposażono w napęd hybrydowy (rys. 14). Do napędzania statku wykorzystywany jest silnik spalinowy. Drugim źródłem energii są panele słoneczne. 786 sztuk paneli słonecznych ładuje 324 tys. baterii litowo-jonowych firmy Panasonic, które zainstalowano w luku bagażowym. Generowana dzięki akumulatorom energia 2,2 MWh zasila cały statek przez cały kurs. Dzięki temu, podczas swego pierwszego rejsu Emerald Ace był w stanie zaoszczędzić 3,5 mln litrów paliwa w porównaniu z konwencjonalną jednostką. Szacuje się, że dzięki wyposażeniu dużych statków w hybrydowe systemy zasilania będzie można zaoszczędzić około 250 mln dolarów na paliwie w trakcie pełnego okresu eksploatacji.



Rys.14. Statek Emerald Ace [29]

## 4. Podsumowanie

Obserwowany w ostatnich latach rozwój techniczny w różnych dziedzinach przemysłu, zwłaszcza rozpowszechniająca się oferta pojazdów z napędem hybrydowym, skłania do zastosowania tego rodzaju napędu w kolejnych gałęziach przemysłu. Również tendencje rozwojowe systemów transportowych w podziemnych zakładach górniczych wskazują na możliwość zastosowania napędów hybrydowych, np. w podziemiach kopalń miedzi do ostawy urobku

stosowane są platformy samojezdne, które napędzane są wysokoprężnym silnikiem spalinowym. Pojazdy te, szczególnie podczas prac manewrowych, wytwarzają duże ilości spalin, które mimo stosowanych systemów wentylacji, są bardzo uciążliwe i szkodliwe dla zdrowia pracujących górników. W Instytucie Techniki Górniczej KOMAG od 2001 do 2003 roku wraz z Politechniką Warszawską i Politechniką Łódzką prowadzono prace nad możliwością zastosowania napędów hybrydowych do górniczych pojazdów dołowych. Prace zakończono opracowując koncepcję napędu hybrydowego dla górniczej platformy samojezdnej, jednak rozwój technologiczny, w szczególności rozwój akumulatorów litowych wymaga na czas obecny opracowania nowej koncepcji. Mimo wysokich, początkowych kosztów zakupu nowych systemów transportowych najbardziej oczywistymi korzyściami będzie zmniejszenie emisji substancji toksycznych zawartych w spalinach do atmosfery kopalnianej. Należy jednak stwierdzić, że rozwój napędów hybrydowych w systemach poziomego transportu podziemnego będzie uzależniony przede wszystkim od zainteresowania odbiorców.

## Literatura

1. Bortniczuk I.: Pojazdy przyszłości - Najnowsze trendy w rozwoju wózków widłowych. *Transport Wewnętrzny i Magazynowanie* 2012 nr 1.
2. Bosch R.: Napędy hybrydowe, ogniwa paliwowe i paliwa alternatywne. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2010.
3. Budzyński Z.: Kierunki rozwoju napędów samojezdnych maszyn górniczych. *Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa* 2002, nr 8, s. 47-52.
4. Ehsani M., Gao Y., Gay S., Emadi A.: *Modern electric, hybrid electric and fuel cell vehicles*. Wydawnictwo CRC Press LLC, Boca Raton, Florida 2005.
5. Fręchowicz A.: O możliwości zastosowania napędów hybrydowych w podziemiach kopalń miedzi. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej - Górnictwo* 2005, nr 269, s.383-390.
6. Herner A., Riehl H.: *Elektrotechnika i elektronika w pojazdach samochodowych*. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2011.
7. Jaroszyński L.: Akumulatory litowe w pojazdach elektrycznych. *Przegląd Elektrotechniczny* 2011 nr 8.
8. Jastrzębska G.: *Odnawialne źródła energii i pojazdy proekologiczne*. Wydawnictwo Naukowo – Techniczne, Warszawa 2007.
9. Klein W., Mężyk A., Czapla T.: *Hybrydowy układ napędowy pojazdu gąsienicowego*. *Szybkobieżne Pojazdy Gąsienicowe* 2012 nr 1.
10. Konsek R.: *Analiza stanu wiedzy, przegląd literatury oraz możliwości zastosowania napędu hybrydowego w maszynach górniczych*. ITG KOMAG, Gliwice 2012 (materiały nie publikowane).
11. Król E., Białas A.: *Koncepcja napędu hybrydowego przeznaczonego do samochodu dostawczego*. *Zeszyty Problemowe - Maszyny Elektryczne BOBRME Komel* 2012, nr 1, s 145-148.
12. Kucharski S.: *Współczesne napędy hybrydowe pojazdów samochodowych na przykładzie Toyoty Prius*. *Przegląd Elektrotechniczny* 2004 nr 7/8.
13. *Materiały informacyjne firmy Komatsu*.
14. *Materiały informacyjne firmy Toyota*.
15. *Materiały informacyjne firmy Solaris*.
16. *Materiały informacyjne firmy Volvo*.
17. Marciniak Z.: *Hybrydowe układy napędowe lokomotyw spalinowych*. *Logistyka* 2010, nr 4.
18. Michalczyk M., Grzesiak M., Ufnalski B.: *A lithium battery and ultracapacitor hybrid energy source for an urban electric vehicle*. *Przegląd Elektrotechniczny* 2012 nr 4b.
19. Moćko W., Wojciechowski A., Ornowski M.: *Perspektywy rozwoju rynku samochodów elektrycznych w najbliższych latach*. *Transport samochodowy* 2011 nr 1.
20. Nosiński A.: *Wybrane aspekty rozwoju pojazdów samochodowych z napędem elektrycznym*. *Transport samochodowy* 2010 nr 4.
21. Pawelski Z., Pawelski W., Pałczyński T.: *Wybrane prototypowe i studialne pojazdy hybrydowo-elektryczne*. *Zeszyty Problemowe - Maszyny Elektryczne BOBRME Komel* 2007 nr 79, s 19-24.
22. [www.altair.com.pl](http://www.altair.com.pl)
23. [www.autoblog.com](http://www.autoblog.com)
24. [www.automatykab2b.pl](http://www.automatykab2b.pl)
25. [www.comsol.com](http://www.comsol.com)
26. [www.diamond-air.at](http://www.diamond-air.at)
27. [www.electricvehiclesnews.com](http://www.electricvehiclesnews.com)
28. [www.hybridcars.com](http://www.hybridcars.com)
29. [www.news.panasonic.net](http://www.news.panasonic.net)

*Artykuł wpłynął do redakcji w sierpniu 2013 r.*