

Marek Pawełczyk

# Rozwój systemów wykorzystujących akumulację energii w transporcie szynowym

**Napędy hybrydowe nie są, wbrew temu, co się sądzi, pomysłem nowym. Pierwsze zastosowania tych napędów datują się na początek ubiegłego stulecia, przy czym początkowo ograniczały się one do pojazdów drogowych. W ostatnich latach daje się zaobserwować zwiększone zainteresowanie napędami hybrydowymi przez producentów taboru kolejowego. Niniejszy artykuł stanowi próbę przedstawienia tendencji rozwojowych w tym zakresie w kontekście rosnących cen nośników energii i troski o środowisko naturalne.**

## Napędy hybrydowe w pojazdach transportu drogowego

Pierwsze próby skonstruowania pojazdów hybrydowych datują się na początek ubiegłego stulecia, kiedy to w Belgii i w Stanach Zjednoczonych powstały pierwsze prototypy takich pojazdów. Przyczyna ich skonstruowania była prozaiczna – w owym czasie moc jednostkowa silników spalinowych i parowych była bardzo niska, w związku z tym wspomagający napęd silnikiem elektrycznym, zasilanym z akumulatora, poprawiał własności trakcyjne pojazdu i jego osiągi. W tym kierunku szły konstrukcje belgijskiego konstruktora i producenta samochodów Piepera (pojazdy komercyjne budowane na podstawie jego patentu w latach 1906–1912) oraz Amerykanina H. Pipera (patent na pojazd hybrydowy udzielony w 1905 r.). W 1910 r. powstał prototyp hybrydowej ciężarówki, na bazie którego w Filadelfii w USA budowano seryjnie hybrydowe pojazdy ciężarowe aż do 1918 r. W międzyczasie konstrukcje silników spalinowych zostały w znacznym stopniu udoskonalone, co wyeliminowało z rynku pojazdy o napędzie hybrydowym. Ponowne zainteresowanie napędami alternatywnymi datuje się na przełom lat 60. i 70. XX w. Powstają w tym okresie pierwsze eksperymentalne pojazdy hybrydowe – można tu wspomnieć o patencie amerykańskiej firmy TRW (1971), pojazdach GM512 (1969), VW Taxi (1974), Buicku Skylark, przebudowanym na pojazd hybrydowy przez Wouka i Rosena (1974). Inspiracją do wielu prac był drastyczny wzrost cen ropy naftowej w I połowie lat 70. oraz konieczność ograniczenia emisji spalin przez pojazdy samochodowe, szczególnie w Kalifornii. W USA powstało w tym okresie kilka aktów prawnych, stymulujących bezpośrednio lub pośrednio rozwój napędów hybrydowych [1, 7, 12, 14].

Ponowne zwiększenie zainteresowania hybrydami przypada na lata 90. – w Stanach Zjednoczonych realizowany jest program *Partnership for a New Generation of Vehicles*, finansowany ze środków amerykańskiej „Wielkiej Trójki” i Departamentu Transportu. Mniej więcej w tym samym okresie Toyota podejmuje działania na rzecz uruchomienia produkcji pojazdów niskoemisyjnych, uwieńczonych uruchomieniem w 1997 r. produkcji (początkowo na rynek japoński) samochodu osobowego Toyota Prius.

Pierwsze wyniki sprzedaży są zachęcające – do końca roku sprzedano w Japonii ok. 18 tys. tych pojazdów. W tym samym roku Audi uruchamia produkcję pierwszego europejskiego samochodu hybrydowego (Audi Duo, bazujący na konstrukcji Audi Avant). Brak zainteresowania tą konstrukcją na rynku skłonił producentów europejskich do rozwijania konstrukcji napędów opartych na silnikach wysokoprężnych. W 1999 r. na rynku amerykańskim pojawia się hybrydowa Honda Insight, a rok później – Toyota Prius. W 2002 r. Honda wprowadza do sprzedaży model Civic Hybrid. Dwa lata później zmodernizowana Toyota Prius II zostaje samochodem roku w plebiscycie organizowanym przez *Motor Trend Magazine* i pojawia się na rynku europejskim [1, 12, 14, 15]. Sukces seryjnie produkowanych pojazdów o napędzie hybrydowym skłonił czołowe koncerny samochodowe do podjęcia intensywnych prac konstrukcyjnych i aktualnie możemy napędy hybrydowe spotkać w ofercie większości liczących się producentów światowych.

## Systemy i pojazdy wykorzystujące akumulację energii rekuperacji w kolejnictwie

Pojazdy szynowe, wyposażone w napęd hybrydowy, można zdefiniować jako pojazdy, wyposażone w pokładowe systemy akumulacji energii, usytuowane między pierwotnym źródłem energii (z reguły trakcyjnym silnikiem wysokoprężnym) a przekładnią, dostarczającą moment obrotowy na napędzane zestawy kołowe pojazdu. Zastosowanie układów hybrydowych jest atrakcyjne z punktu widzenia możliwości wykorzystania energii rekuperacji, która pojawia się podczas hamowania pojazdu. W trakcji elektrycznej rekuperowana energia jest przekazywana do sieci trakcyjnej, o ile na tym samym, lub na pobliskim odcinku zasilania znajduje się inny pojazd trakcyjny, pobierający energię z sieci. W przypadku, gdy nie ma możliwości przekazania energii rekuperowanej innemu pojazdowi, pojazd przechodzi do klasycznego trybu hamowania, co powoduje zamianę energii kinetycznej pojazdu na energię ciepłą, rozpraszaną w otoczeniu. Pojazd hybrydowy wyposażony jest w zasobnik energii (na ogół baterię akumulatorów), w którym energia rekuperacji zostaje zmagazynowana w celu jej wykorzystania podczas rozruchu. Rozwiązaniem alternatywnym jest zastosowanie stacjonarnych zasobników energii, usytuowanych w pobliżu linii kolejowej, do których energia rekuperowana zostaje przekazana, względnie wykorzystanie układów przekształtnikowych w podstacji trakcyjnej, które energię rekuperacji zwracają do sieci energetycznej. Każde z wymienionych rozwiązań ma określone wady – zasobnik energii na pojeździe zwiększa jego masę i pogarsza własności dynamiczne pojazdu. Stacjonarne zasobniki energii muszą być usytuowane w relatywnie małych odległościach, szczególnie na liniach charakteryzujących się dużym natężeniem przewozów. Z drugiej strony mają

one korzystny wpływ na „wygładzenie” przebiegów prądowo-napięciowych w sieci trakcyjnej i na zniwelowanie „pików” mocy pobieranej przez podstacje trakcyjne z sieci energetycznej. Zastosowanie układów przekształtnikowych implikuje zwiększenie nierównomierności poboru mocy.

Dotychczas próby zastosowania stacjonarnych zasobników energii nie wykraczały poza fazę pojedynczych instalacji, choć pierwsze koncepcje pochodzą jeszcze z początku XX w. (Góry Skaliste, USA). Dwie prototypowe podstacje akumulujące nadwyżki energii rekuperacji, wyposażone w bezwładniki (koła zamachowe) były eksploatowane od pierwszej połowy lat 80. na linii Keihin w Japonii. Jedna z nich funkcjonuje do chwili obecnej [2, 3]. Na zastosowanie stacjonarnej podstacji akumulującej nadwyżki energii rekuperacji z bezwładnikami wykonanymi w technologii włókien węglowych zdecydował się ostatnio zarząd metra w Nowym Jorku [4]. Stacjonarne podstacje akumulacyjne budowano także na bazie akumulatorów elektrochemicznych i tzw. kondensatorów dwuwarstwowych [5, 8, 10, 18].

Zastosowania akumulacji energii na pojeździe początkowo wiązały się z koncepcją napędu elektrycznego, w którym silniki trakcyjne zasilane były z baterii akumulatorów. Pierwsze próby budowy pojazdów akumulatorowych nie należały do udanych z uwagi na brak dostatecznie zaawansowanych technologicznie akumulatorów – były one zbyt ciężkie z uwagi na niskie wartości energii właściwej i mocy właściwej, charakteryzujące tanie akumulatory ołowiane i zasadowe akumulatory niklowo-żelazowe, w związku z tym zasięg takich pojazdów był niedostateczny. Przykładem takich konstrukcji, które nie sprawdziły się w eksploatacji, była polska lokomotywa EPA 42-01, przebudowana w 1987 r. z lokomotywy manewrowej SM42. Lokomotywa miała być wykorzystywana do prowadzenia pociągów sieciowych w tunelu średnicowym w Warszawie. W pojeździe tym silnik trakcyjny został zastąpiony baterią akumulatorów. Wyniki badań eksploatacyjnych nie potwierdziły założeń projektowych, jakość akumulatorów była niedostateczna i w efekcie prototyp nie został ostatecznie wprowadzony do normalnej pracy na PKP [19].

Większy sukces odniosły konstrukcje pojazdów szynowych, wykorzystujące hybrydowy napęd elektryczno-baterijny. Palma pierwszeństwa w tej kategorii należy do Stanów Zjednoczonych. W 1928 r. firma Kennecott Copper złożyła zamówienie na 4 lokomotywy elektryczne wyposażone w dużą baterię akumulatorów

Ni-Fe. Przepracowały one pomyślnie kilka dekad. Zasilanie odbywało się z sieci trakcyjnej o napięciu 750 V, a akumulatory umożliwiały krótkotrwałe zwiększenie mocy (szczególnie podczas rozruchu) i pracę na odcinkach niezelektryfikowanych [23].

W metrze londyńskim od 1936 r. były eksploatowane lokomotywy z takim właśnie układem napędowym. Przeznaczone były do prac serwisowych w tunelach metra. W miejsce wyeksploatowanych lokomotyw w latach 50., 60. i 70. dostarczane były nowsze pojazdy. Aktualnie metro londyńskie dysponuje pięcioma takimi pojazdami, wyprodukowanymi w 1970 r. (fot. 1).

Na przełomie lat 70. i 80. koleje niemieckie eksploatowały wagony silnikowe o napędzie elektryczno-akumulatorowym [13]. Na początku lat 80. hybrydowe pojazdy metra, wyposażone w akumulatory inercyjne (koła zamachowe) wprowadziło do eksploatacji metro w Nowym Jorku [9].

W 1986 r. czechosłowacki producent pojazdów szynowych, ČKD, wyprodukował prototyp hybrydowej lokomotywy manewrowej, oznaczonej symbolem DA 600, zasilanej silnikiem wysokoprężnym o mocy 190 kW. Cztery elektryczne silniki trakcyjne tej lokomotywy miały moc ciągłą 360 kW i były zasilane jednocześnie przez generator, napędzany silnikiem spalinowymi i przez baterię akumulatorów. Akumulatory były doładowywane w trakcie pracy silnika lokomotywy, a także podczas hamowania rekuperacyjnego. Mogły być także doładowywane w czasie postoju lokomotywy z zewnętrznego źródła energii. Po zakończeniu testów lokomotywa została przekazana do Olomuńca, gdzie była pomyślnie eksploatowana przez 10 lat. Produkcji seryjnej tych lokomotyw nie udało się uruchomić ze względu na niewystarczające moce produkcyjne czechosłowackich firm wytwarzających akumulatory i brak możliwości w zakresie importu zaopatrzeniowego [21].

Ciekawym rozwiązaniem konstrukcyjnym są francuskie zespoły trakcyjne Autorail à Grande Capacité, produkowane od 2004 r. w różnych wariantach przez kanadyjskiego Bombardiera jako trakcyjne zespoły XGC o napędzie spalinowym (seria X 76500), dwusystemowe zespoły elektryczne ZGC (seria Z 27500) oraz dwumodalne zespoły BGC (napęd spalinowy + napęd elektryczny 1500 VDC – seria B 81500) i dwumodalne zespoły BGC z napędem spalinowym i napędem elektrycznym dwusystemowym 1500 VDC/25 kV AC [22].

Umiarkowanym zainteresowaniem kolei amerykańskich cieszą się hybrydowe lokomotywy firmy Green Power, produkowane od 2005 r. przez kanadyjską firmę Railpower Technologies. Firma oferuje także usługi w zakresie przebudowy istniejących spalinowych lokomotyw manewrowych na wersje hybrydowe [23]. Zgodnie z danymi firmy zastosowanie napędu hybrydowego zapewnia ograniczenie emisji substancji szkodliwych do 90% i ograniczenie zużycia paliwa do 60%. Pojazdy te zostały szczegółowo opisane w periodyku krajowym [24]. Ciekawym rozwiązaniem są lokomotywy Railpower serii Genset, w których źródłem napędu są małe silniki spalinowe; ich liczba wynosi, w zależności od modelu, od 2 do 4. Komputer pokładowy łączy odpowiednią liczbę silników w zależności od chwilowego zapotrzebowania na moc. Jedna taka lokomotywa, w wersji dwusilnikowej, została wyposażona w baterię akumulatorów i uzyskała oznaczenie RP20BH. Łącznie firma Railpower wyprodukowała w latach 2004–2010 około 190 lokomotyw, z których 66 – to lokomotywy hybrydowe o mocy 1000 i 2000 KM, a ponad 120 – to wielosilnikowe lokomotywy Genset [25].



Fot. 1. Lokomotywa L16 o napędzie elektryczno-baterijnym, eksploatowana przez metro londyńskie

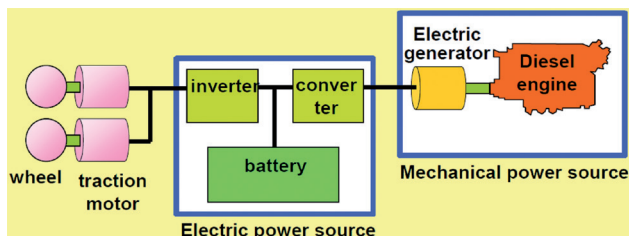
Źródło: [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Battery\\_loco\\_16\\_at\\_West\\_Ham.JPG](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Battery_loco_16_at_West_Ham.JPG)  
(2.05.2010)



Prototyp lokomotywy hybrydowej zbudowała także firma General Electric. Lokomotywy hybrydowe GE mają stanowić uzupełnienie aktualnie oferowanej serii GE Evolution [23].

## Nowe hybrydowe pojazdy szynowe produkcji japońskiej

Podobnie, jak w przypadku pojazdów samochodowych, również w dziedzinie hybrydacji pojazdów szynowych konstruktorzy i producenci japońscy stają się liderami światowymi. Ich dziełem jest pierwszy na świecie hybrydowy spalinowy wagon silnikowy, który po zakończeniu testów rozpoczął dwa lata temu normalną pracę eksploacyjną. Producentem pojazdu jest firma Hitachi, która prace, związane z zastosowaniem napędów hybrydowych w kolejnictwie podjęła już w 2001 r. [26]. Opracowany szeregowy hybrydowy układ napędowy jest wynikiem współpracy firmy Hitachi z działem badawczym East Japan Railway Company (jednej z 7 spółek kolejowych, wchodzących w skład grupy Japan Railways). Hybrydowy układ napędowy obejmuje silnik wysokoprężny o mocy 331 kW, napędzający trójfazowy generator elektryczny o mocy ciągłej 270 kW/ 615 V (rys. 1). Energia elektryczna, wytworzona przez generator, jest przekazywana do przekształtnika, z pośrednim obwodem prądu stałego, w skład którego wchodzi wysokowydajna bateria akumulatorów litowo-jonowych. Falownik typu VVVF zasila 2 silniki trakcyjne prądu przemiennego o mocy ciągłej 95 kW każdy. Układ sterowania zapewnia możliwość odzysku energii kinetycznej podczas hamowania wagonu [26, 27].



Rys. 1. Szeregowy hybrydowy układ napędowy wagonu silnikowego JR-East [27]

Badania układu napędowego, przeprowadzone podczas jazd próbnych testowego wagonu silnikowego o nazwie *NE Train (New Energy Train)*, wykazały korzystne własności układu w zakresie zużycia paliwa, niezawodności i trwałości układu akumulacji energii oraz możliwości zastosowania układu w normalnych warunkach eksploatacyjnych. W oparciu o wyniki badań JR-East złożyły zamówienie na 3 hybrydowe wagony silnikowe i po ich dostarczeniu przez producenta w kwietniu 2007 r. rozpoczęło 31 lipca 2007 r. normalną eksploatację, jednocześnie nadając nowym wagonom oznaczenie KiHa E200 DEMU (*diesel electric multiple unit*) [26].

Wagon silnikowy przedstawiono na fotografii 2, a podstawowe dane techniczne wagonu [28] w tabeli 1.

System sterowania obejmuje układy kontroli poprawności działania poszczególnych obwodów elektrycznych oraz kontroli stopnia naładowania akumulatorów. W celu poprawy niezawodności systemu magazynowania energii baterię akumulatorów podzielono na dwie odrębne funkcjonalnie części. W zależności od stopnia naładowania baterii i prędkości pojazdu regulowana jest moc silnika spalinowego, zgodnie z algorytmem zapewniającym utrzymanie właściwego stopnia naładowania akumulatorów i minimalizację zużycia paliwa:



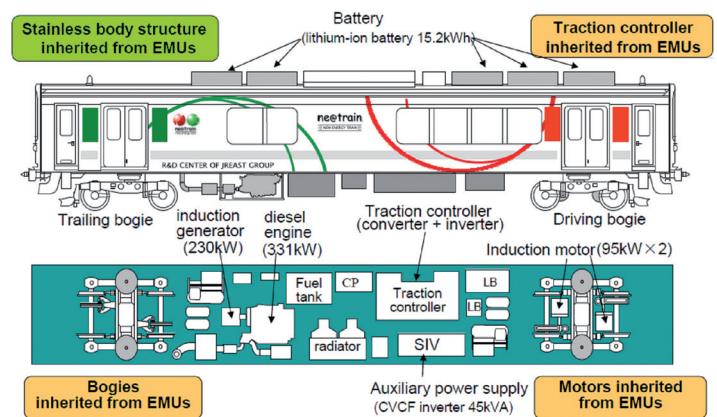
Fot. 2. Wagon silnikowy KiHa E200 kolei JR East z napędem hybrydowym

Źródło: <http://en.wikipedia.org/wiki/File:JREast-kihaE200-1.jpg>

Tabela 1

## Podstawowe dane techniczne wagonu NE Train (New Energy Train) [28]

Okres eksploatacji	od 2007 r. do chwili obecnej
Liczba wagonów w eksploatacji	3
Konfiguracja	pojedynczy wagon silnikowy
Liczba miejsc dla pasażerów	117 (46 miejsc do siedzenia)
Linia	Kuomi (JR-East)
Konstrukcja pudła	stal nierdzewna
Wymiary pojazdu	19 500 × 2920 mm
Prędkość maksymalna	100 km/h



Rys. 2. Rozmieszczenie elementów układu napędowego w pojeździe [27]

- w celu zmniejszenia poziomu hałasu i zużycia paliwa silnik spalinowy jest wyłączany podczas postoju pojazdu;
- rozruch pojazdu odbywa się kosztem energii zmagazynowanej w baterii akumulatorów (przy wyłączonym silniku spalinowym);
- przy prędkości ok. 25 km/h uruchamiany jest silnik trakcyjny, który za pośrednictwem generatora napędza silniki trakcyjne i doładowuje baterię akumulatorów;
- podczas hamowania odzyskowego silnik spalinowy jest wyłączany, a energia rekuperowana doładowuje baterię akumulatorów;

- gdy podczas hamowania rekuperacyjnego stopień naładowania baterii osiągnie maksimum, uruchamiane jest hamowanie silnikowe, aby zapobiec przeladowaniu baterii.

Schemat układu sterowania przedstawiono na rysunku 3, a schematy przepływów mocy w różnych fazach cyklu jazdy – na rysunku 4.

Pojazd wyposażony jest w nastawnik jazdy i układ kontroli trakcji zaadaptowany z seryjnie produkowanych przez firmę Hitachi zespołów trakcyjnych. Dodatkowym elementem nastawnika jest tzw. *gradient-prediction control system* (system sterowania oparty na przewidywaniu profilu pionowego). System automatycznie rozpoznaje chwilowe położenie pojazdu na odcinku linii kolejowej i na tej podstawie przewiduje zmiany profilu pionowego, w wyniku czego następuje odpowiednia modyfikacja algorytmu sterowania układem zarządzania energią:

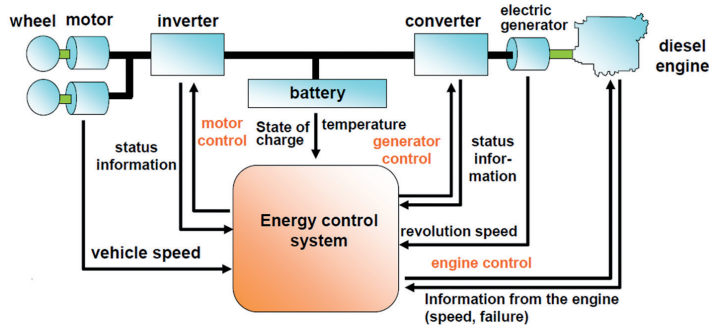
- podczas jazdy po spadku w reżimie silnikowym lub podczas jazdy wybiegiem, w pierwszej kolejności wykorzystywana jest energia z baterii akumulatorów; podczas hamowania w maksymalnym stopniu stosowany jest odzysk energii kinetycznej;

- na wzniesieniach i odcinkach płaskich rozszerzany jest przedział wartości określających stopień naładowania baterii, umożliwiających rozpoczęcie ładowania/rozładowywania baterii akumulatorów.

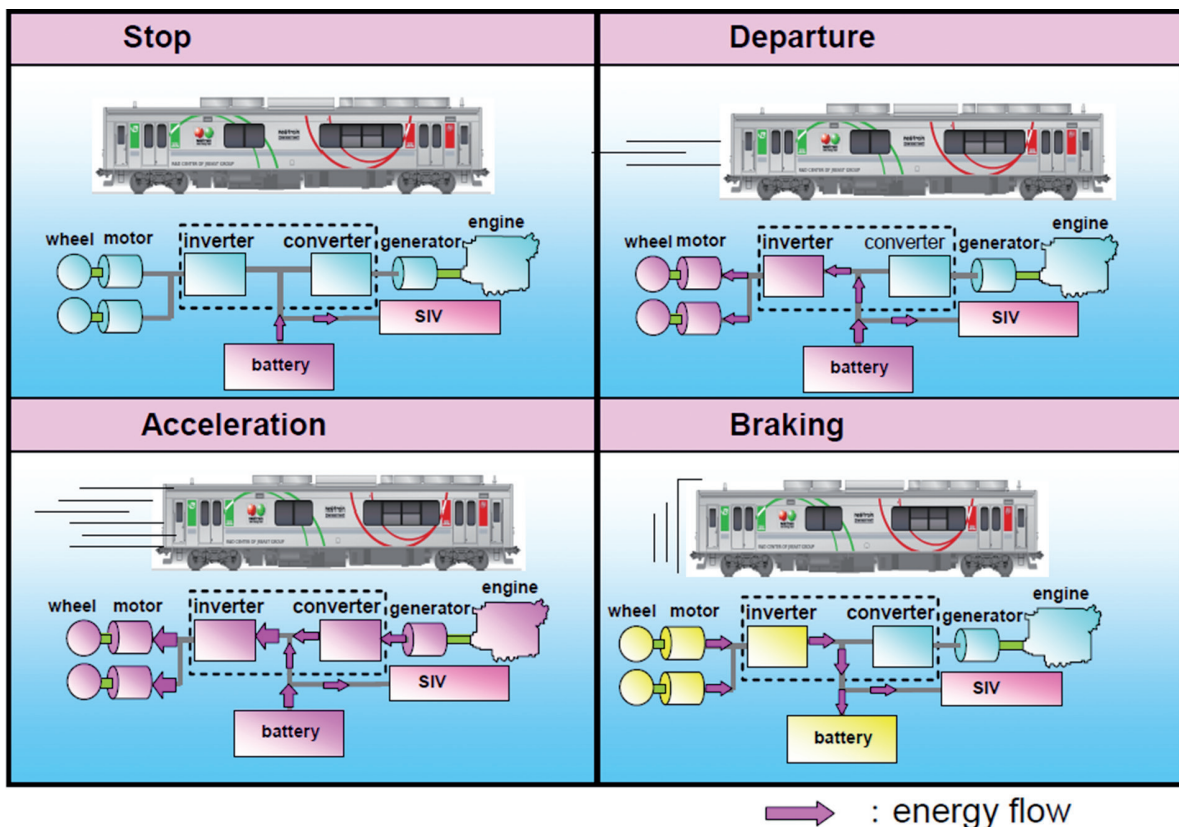
Zespół akumulatorów umieszczono na dachu pojazdu. Składa się on z 16 modułów o łącznej pojemności 15,2 Ah, łącznej rezystancji wewnętrznej 144 mΩ i gęstości mocy 3 kW/kg. Masa pojedynczego modułu wynosi ok. 20 kg, przy rozmiarach zewnętrznych 540×260×160 mm (dł.×szer.×wys.). Zakładana żywotność baterii wynosi 8 lat, przy zakładanym okresie eksploatacji wagonu silnikowego szacowanym na 15 lat [27].

Oszczędności energii wynikające z zastosowania napędu hybrydowego podczas testów wynosiły od kilku do ok. 20% w zależności od profilu pionowego linii, na której prowadzono badania (liczba kilometrów przejechanych na jednostce objętości paliwa wynosiła 1,7–2,3 km/dm<sup>3</sup>). Zgodnie z oczekiwaniami najmniejsze oszczędności uzyskiwano na podjazdach, największe – na odcinkach linii o płaskim profilu. Emisja substancji szkodliwych zmniejszyła się dzięki optymalizacji warunków pracy silnika spalinowego (praca silnika w wąskim przedziale zmienności prędkości obrotowych) oraz dzięki zmniejszeniu zużycia paliwa, wynikającemu z zastosowania napędu hybrydowego. Emisja węglowodorów została zredukowana do poziomu 13,3% w porównaniu z napędem „klasycznym”, emisja tlenków azotu – do 40%, zaś emisja sadzy – do 43,7%. Jednocześnie poprawiły się własności dynamiczne pojazdu i zdaniem badaczy są one obecnie zbliżone do parametrów bliźniaczego elektrycznego zespołu trakcyjnego E 231 [27].

Aktualnie w ramach projektu ne@train prowadzone są badania kolejnego prototypu wagonu silnikowego, wy-

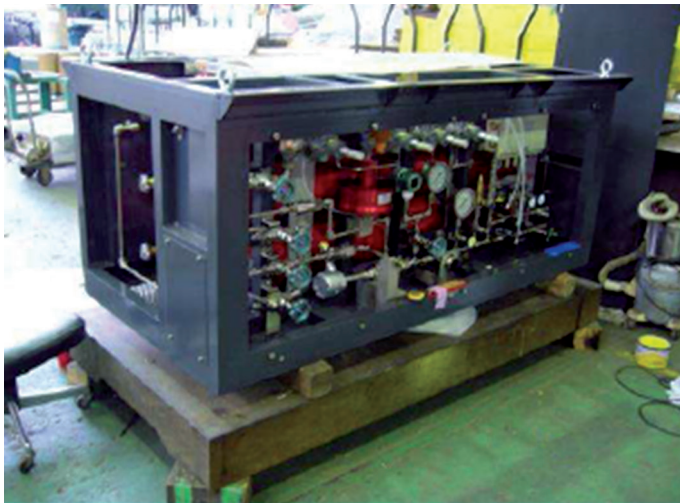


Rys. 3. Schemat funkcjonalny układu sterowania [27]



Rys. 4. Schemat przepływów energii w reżimach postoju, rozruchu, przyspieszania i hamowania [27]





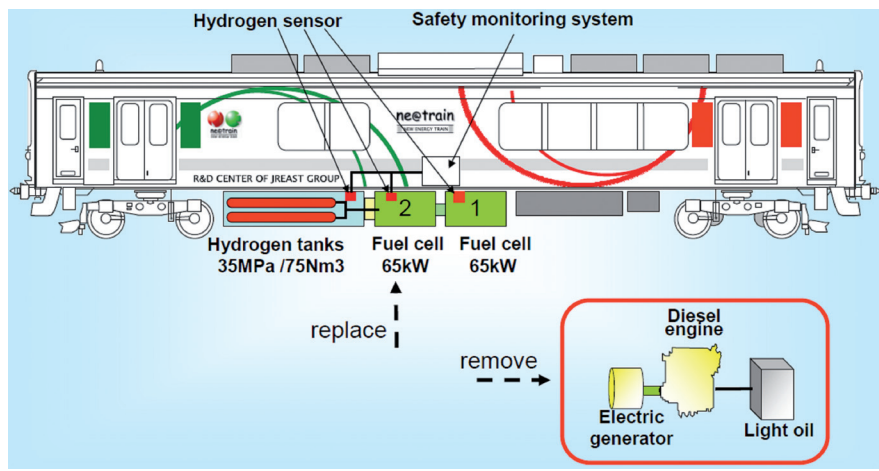
Fot. 3. Zbiorniki wodoru (po lewej) i moduł ogni paliwowych (po prawej) [27]

posażonego w baterię ogni paliwowych, zasilanych gazowym wodorem. Na fotografii 3 przedstawiono zbiornik wodoru (po lewej) i moduł ogni paliwowych (po prawej).

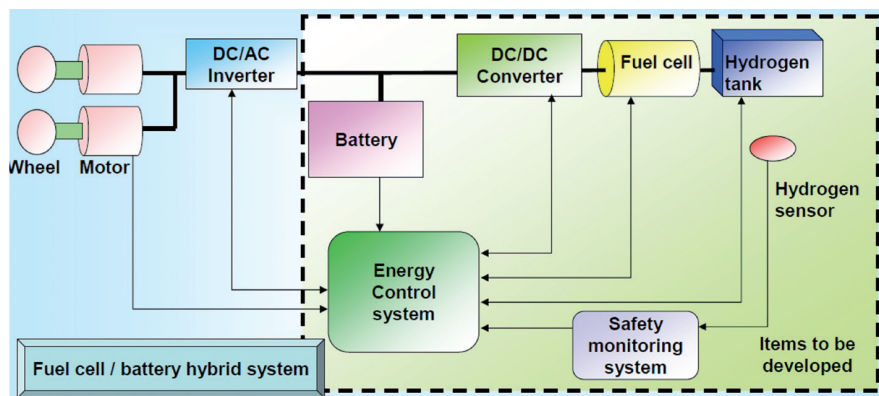
Na rysunku 5 przedstawiono zasadnicze zmiany w konstrukcji pojazdu, związane z zastosowaniem ogni paliwowych. Ze skrzyń, zainstalowanych pod pudłem wagonu, usunięto silnik spalinowy ze zbiornikiem paliwa i z generatorem elektrycznym. W ich miejsce zainstalowano wysokociśnieniowe zbiorniki zawierające 75 Nm<sup>3</sup> wodoru pod ciśnieniem 35 MPa oraz dwa moduły ogni paliwowych o mocy nominalnej po 65 kW każdy. Z uwagi na potencjalne zagrożenie, jakie niesie zastosowanie gazowego wodoru, w skrzyniach aparatowych zainstalowano system czujników – detektorów wodoru, podłączonych do systemu monitorowania bezpieczeństwa. Zmodyfikowany system sterowania przepływem mocy pokazano na rysunku 6.

Z uwagi na niskie temperatury robocze ogniwa paliwowego (~100°C) i dobrą dynamikę pracy podjęto decyzję o zastosowaniu ogni paliwowych z polimerowym elektrolitem (PEMFC).

Firma Hitachi opracowała także, we współpracy z kolejami brytyjskimi, hybrydowy układ napędowy, przeznaczony do spalinowych lokomotyw liniowych i zespołów trakcyjnych. Prototypowy układ hybrydowy zamontowano w pociągu dużych prędkości, eksploatowanym w Wielkiej Brytanii. Pociąg testowy, nazwany V-Train 2, przeszedł serię testów, mających wykazać efektywność zastosowania nowego typu układu napędowego. Pod względem funkcjonalnym układ ten jest bardzo podobny do rozwiązań zastosowanych w opisanym wagonie silnikowym.



Rys. 5. Modyfikacja układu pojazdu związana z zastosowaniem ogni paliwowych [27]



Rys. 6. Modyfikacja systemu sterowania przepływem mocy związana z zastosowaniem ogni paliwowych [27]

### Podsumowanie

Ograniczone ramy artykułu nie pozwalają na bardziej szczegółowe omówienie przedstawionych rozwiązań konstrukcyjnych napędów alternatywnych w kolejnictwie. Wydaje się, że tendencje w zakresie wprowadzania napędów hybrydowych w kolejnictwie są bardzo wyraźne, szczególnie w kontekście osiągnięć amerykańskich (lokomotywy manewrowe) i japońskich. Warto dodać, że w literaturze przedmiotu znaleźć można wiele informacji o kolejnych

operatorach kolejowych wprowadzających, lub zamierzających wprowadzić w najbliższej przyszłości, pojazdy szynowe z napędami alternatywnymi. Również producenci europejscy (Alstom, Bombardier i inni) prowadzą intensywne prace badawcze i konstrukcyjne, mające na celu wdrożenie do praktyki eksploatacyjnej nowych napędów. Kilka lat temu na wystawie Innotrans w Berlinie można było oglądać prototypowy zespół trakcyjny Corradia Lirex firmy Alstom, wyposażony w zasobnik energii. Sygnały o wprowadzaniu nowych napędów alternatywnych dochodzą także od producentów tramwajów – przykładem tego mogą być przeprowadzone kilka lat temu w Warszawie badania tramwaju z zainstalowanym zasobnikiem energii, mogącego poruszać się na krótkich odcinkach niez elektryfikowanych. Wobec rosnących cen energii i coraz lepszych parametrów zasobników energii rozwój systemów wykorzystujących akumulację energii w transporcie szynowym wydaje się być nieunikniony.



## Literatura

- [1] *History of Hybrid Vehicles – Hybrid Cars*. <http://www.hybridcars.com/history/history-of-hybrid-vehicles.html> (2.05.2010).
- [2] Maruyama, N.: *Fly-wheel type electric railway energy saving substation*. Japanese Railway Engineering, Vol. 21, No. 2, 1981.
- [3] Satoru S.: *Wayside and on-board storage can capture more regenerated energy*. Railway Gazette International, 2.07.2007 r. (przedruk dostępny na stronie internetowej <http://www.railwaygazette.com/news/single-view/view/10/wayside-and-on-board-storage-can-capture-more-regenerated-energy.html>) (2.05.2010).
- [4] *New York orders flywheel energy storage*. Railway Gazette International, 14.08.2009 r. (przedruk dostępny na stronie internetowej <http://www.railwaygazette.com/news/single-view/view/10/new-york-orders-fly-wheel-energy-storage.html>) (2.05.2010).
- [5] Gunselmann W., Höschler P., Reiner, G.: *Energiespeichereinsatz im Statbahnnetz Köln*. Elektrische Bahnen 98 (2000), z. 11–12.
- [6] Pawełczyk M.: *Ocena korzyści związanych z zastosowaniem zasobników energii w trakcji elektrycznej prądu stałego*. Materiały Międzynarodowej Konferencji MET '2001. Gdańsk 2001.
- [7] Pawełczyk M.: *Zasobniki energii w transporcie – możliwości zastosowań i korzyści*. Spedycja, Transport, Logistyka 3/2001.
- [8] Baxter R., *Energy storage: enabling a future for renewables?* Renewable Energy World July-August 2002.
- [9] Bowler M.E.: *Flywheel energy systems: Current status and future prospects*. Magnetic Material Producers Association Joint Users Conference, 1997.
- [10] Marshall J.: *Supercharging Ahead: Bay Area firms lead in race to develop high-tech device*. San Francisco Chronicle, January 29, 1997.
- [11] *Energy Storage. Ultracapacitors and Batteries*. A leaflet of the Argonne National Laboratory. Argonne, Illinois.
- [12] Vouk V.: *Pojazdy z napędem hybrydowym*. Świat Nauki 12/1997.
- [13] Rappenglück W., Pfister, F.: *Elektrischer Triebwagen für Fahrleitungs- und Batteriebetrieb*. ETR (30) 9/1981.
- [14] Reuyl J.S., Schuurmans, P.J.: *Policy Implications of Hybrid-Electric Vehicles*. Final Report to NREL under Subcontract # ACB-5-15337-01. April 22, 1996.
- [15] Szumanowski A.: *Akumulacja energii w pojazdach*. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1983.
- [16] Mierzejewski L., Szelağ A.: *Aktualne kierunki ograniczania zużycia energii elektrycznej w transporcie kolejowym*. Technika Transportu Szynowego 7-8/2004.
- [17] Van Mierlo J., Van den Bossche P., Maggetto G.: *Models of energy sources for EV and HEV: fuel cells, battery, ultracapacitors, flywheels and engine-generators*. Journal of Power Sources 128 (2004) 76–89.
- [18] Lechner M., Reiner K.: *Einsatz eines Batteriespeichers bei einer Bergbahn*. Elektrische Bahnen 93 (1995) H. 8.
- [19] *Zapiski maszynisty – Pamiętnik maszynisty* – bloog.pl. <http://1435mm.bloog.pl/id,2867584,title,EPA42,index.html?title-id=6a406> (2.05.2010)
- [20] *London Underground battery-electric locomotives*. Artykuł w Wikipedii: [http://en.wikipedia.org/wiki/London\\_Underground\\_battery-electric\\_locomotives](http://en.wikipedia.org/wiki/London_Underground_battery-electric_locomotives) (2.05.2010)
- [21] *V Japonsku se bude jezdit hybridním vlakem*. <http://www.zelpage.cz/zpravy/5014> (1.05.2010).
- [22] *Autorail à grande capacité*. Artykuł w Wikipedii: [http://en.wikipedia.org/wiki/Autorail\\_%C3%A0\\_grande\\_capacit%C3%A9](http://en.wikipedia.org/wiki/Autorail_%C3%A0_grande_capacit%C3%A9) (3.05.2010)
- [23] *Hybrid train*. Artykuł w Wikipedii [http://en.wikipedia.org/wiki/Hybrid\\_Locomotive](http://en.wikipedia.org/wiki/Hybrid_Locomotive) (1.05.2010).
- [24] Michnej M., Szkoła M.: *Współczesne rozwiązania hybrydowych układów napędowych spalinowych pojazdów trakcyjnych*. Technika Transportu Szynowego 10/2007.
- [25] *RailPower's Green Goat Locomotives; Hybrids and Gensets*. <http://www.american-rails.com/green-goat-locomotives.html> (4.05.2010).
- [26] Tokuyama K., Shimada M., Terasawa K., Kaneko T.: *Practical Application of a Hybrid Drive System for Reducing Environmental Load*. Hitachi Review Vol. 57 (2008), No. 1.
- [27] Furuta R.: *Development of new energy train*. 9<sup>th</sup> UIC Environment Coordinators Conference. Innovation Session: The Trains of the Future. Marseille 13<sup>th</sup> of October 2006. <http://www.uic.org/spip.php?article1563>
- [28] *KiHa E200*. Artykuł w Wikipedii [http://en.wikipedia.org/wiki/KiHa\\_E200](http://en.wikipedia.org/wiki/KiHa_E200) (3.05.2010)

dr hab. inż. Marek Pawełczyk  
Katedra Pojazdów Samochodowych i Transportu  
Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn  
Politechnika Świętokrzyska