

Napędy hybrydowe pojazdów trakcji elektrycznej i spalinowej

W artykule zaprezentowano osiągnięcia krajowe i zagraniczne we wdrażaniu do eksploatacji hybrydowych pojazdów komunikacji miejskiej takich jak tramwaje, trolejbusy i autobusy oraz spalinowych pojazdów trakcyjnych (lokomotyw liniowych i manewrowych). Przedstawiono korzyści wynikające z ich wprowadzenia do eksploatacji związane przede wszystkim z ograniczeniem zużycia energii oraz zmniejszaniem emisji substancji szkodliwych i gazów cieplarnianych do atmosfery. Zaprezentowano również propozycję modernizacji manewrowej lokomotywy spalinowej poprzez zabudowę w niej układu hybrydowego. Artykuł został opracowany w ramach projektu rozwojowego własnego nr N R10 0062 10 pn „Lokomotywa manewrowa z hybrydowym układem napędowym z wykorzystaniem wysokowydajnych zasobników energii” finansowanego z budżetu Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

1. Wstęp

Ostatnie lata w budowie i modernizacji pojazdów (drogowych i szynowych) związane jest z ograniczeniem ich szkodliwego oddziaływania na środowisko naturalne oraz zmniejszeniem jednostkowego zużycia energii do wykonywania założonych zadań przewozowych i trakcyjnych. Dąży się więc przede wszystkim do ograniczenia, w przypadku pojazdów elektrycznych, poboru energii z sieci trakcyjnej jak również wykorzystanie energii odzyskiwanej podczas hamowania do zasilania napędów pomocniczych lub przekazywania powrotnego do sieci trakcyjnej.

W przypadku pojazdów spalinowych dąży się ponadto do redukcji zanieczyszczeń toksycznych składników spalin emitowanych do atmosfery oraz zmniejszenia zużycia jednostkowego olejów napędowych i środków smarnych.

Wszystkie działania które mają za zadanie zmniejszenie oddziaływania środków transportu na środowisko naturalne poprzez redukcję zanieczyszczeń oraz poprzez zmniejszenie jednostkowego zużycia energii są zauważalne w krajach Ameryki Północnej oraz w krajach Europy Północnej i Zachodniej.

W Europie w czerwcu 2006 wydano w tej sprawie dekret pt. „Keep Europe Moving”, który stanowił rewizję Białej Księgi uchwalonej w 2001 roku i dotyczył ograniczenia niekorzystnego oddziaływania całego transportu na środowisko naturalne.

Do ekologicznej poprawy stanu taboru duże nadzieje wiąże się z wprowadzeniem do eksploatacji pojazdów hybrydowych. Najbardziej zaawansowane projekty wdrożone już do eksploatacji napędy hybrydowe spotyka się w pojazdach takich jak autobusy, trolejbusy, tramwaje oraz elektryczne zespoły trakcyjne. W pojazdach trakcji spalinowej wprowadzono dotychczas

niewiele pojazdów a ich rozwój jest najbardziej widoczny w wysokoprzemysłowych krajach świata.

Wprowadzenie napędów hybrydowych (systemów wykorzystujących więc więcej niż jedno źródło energii) powinno dać następujące korzyści [8, 9].

- odzysk od 30 do 40 % energii wykorzystywanej w procesie hamowania
- zmniejszenie od 20 do 60 % zużycia oleju napędowego
- ograniczenie o 40 % emisji gazów cieplarnianych HC i CO₂ do atmosfery
- zmniejszenie o 10 % emisji tlenków azotu NO_x i cząstek stałych
- obniżenie kosztów eksploatacji i utrzymania pojazdów
- redukcję poziomu hałasu zewnętrznego i wewnętrznego (w kabinach sterowniczych)
- obniżenie poziomu drgań w kabinach sterowniczych.

Ponadto zastosowanie napędów hybrydowych w pojazdach trakcji spalinowej pozwoli na:

- pełne wykorzystanie mocy silników elektrycznych oraz łatwiejsze ruszanie pociągów ciągniętych lokomotywą spalinową
- pracę silnika spalinowego (o mniejszej mocy) na charakterystycznych zbliżonych do optymalnych, dzięki wykorzystaniu energii wytwarzanej na postoju (przy pracy silnika na biegu jałowym) oraz podczas hamowania, gromadzonej w wysokowydajnych zasobnikach energii (akumulatorach)

- dłuższe okresy pracy silników spalinowych pomiędzy poszczególnymi przeglądami i naprawami a tym samym obniżenie kosztów utrzymania
- zdecydowaną poprawę komfortu jazdy związanej z zastosowaniem nowoczesnych rozwiązań w układach sterowania napędem i lokomotywą.

Najbardziej racjonalny efekt uzyska się przy jednoczesnym zastosowaniu w nowych lokomotywach z napędem hybrydowym nowoczesnych zespołów prądotwórczych tj. silników spalinowych spełniających najnowsze wymagania w zakresie niskiego zużycia oleju napędowego i środków smarnych oraz wymagań w zakresie emisji do atmosfery składników toksycznych spalin.

W dalszej części artykułu przedstawione zostaną zagadnienia związane z wykorzystaniem zespołów hybrydowych w pojazdach trakcyjnych oraz przedstawiona zostanie propozycja zastosowania tego rodzaju napędu w przeznaczonej do modernizacji w lokomotywie spalinowej.

2. Hybrydowe układy napędowe pojazdów drogowych i szynowych

Zastosowanie napędu hybrydowego jak już zaznaczono umożliwia realizację trzech głównych celów: oszczędności zużycia oleju napędowego, zmniejszenie emisji toksycznych składników spalin oraz zwiększenie momentu obrotowego i mocy.

Stosowane są zasadniczo dwa rozwiązania napędu hybrydowego [23]:

- niepełny napęd hybrydowy w którym silnik spalinowy jest tylko wspomagany przez silnik elektryczny, który w zależności od stanu pracy oferuje dodatkową moc lub dodatkowe siły hamowania
- pełny hybrydowy napęd w którym pojazd może być napędzany wyłącznie silnikiem elektrycznym.

Niepełny napęd hybrydowy na ogół jest realizowany jako równoległy, natomiast pełny napęd hybrydowy może być napędem równoległym, szeregowym lub szeregowo-równoległym.

W pojazdach drogowych (autobusy, samochody ciężarowe) stosowane są napędy hybrydowe szeregowe i równoległe, które z powodzeniem mogą być zastosowane również w trakcyjnych pojazdach szynowych.

Schemat ogólny w zastosowaniu do pojazdów drogowych przeniesienia napędu z silnika spalinowego oraz akumulatorów na koła przedstawiono na rys. 1 [18].

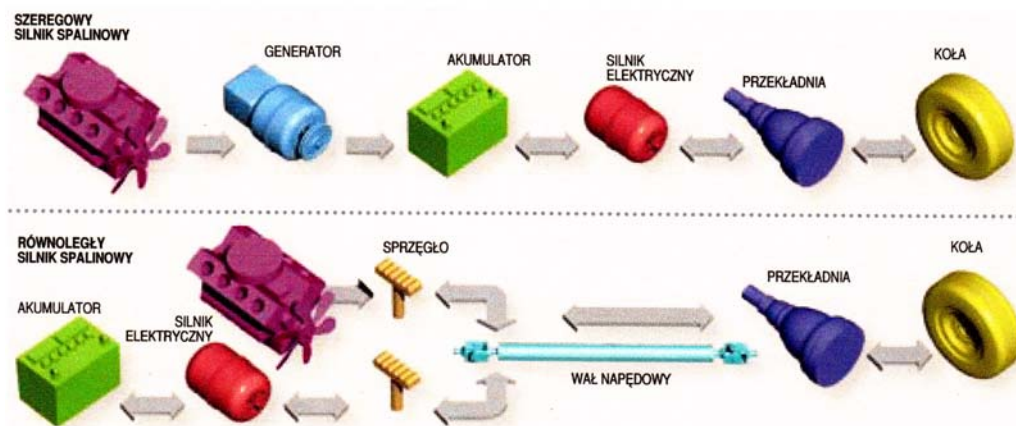
W „hybrydach” szeregowych silnik spalinowy napędza generator (prądnicę) która ładuje akumulatory (zasobniki energii) dostarczające prąd do silników trakcyjnych napędzających poprzez przekładnie koła (zestawy kołowe).

W „hybrydach” równoległych moment obrotowy na koła (zestawy kołowe) może być przenoszony przez silnik spalinowy, jak i elektryczny. W układzie równoległym nie ma potrzeby stosowania prądnicy, ponieważ jego funkcję spełnia silnik elektryczny, który może również ładować akumulatory.

Oba rodzaje zastosowanych pojazdów z napędami hybrydowymi mogą się przemieszczać wykorzystując zasilanie wyłącznie z akumulatorów (tryb pracy elektryczny) lub wykorzystując jedynie silnik spalinowy, lub oba źródła jednocześnie. Zaletą układu równoległego jest stosowanie silników spalinowych i elektrycznych o mniejszej mocy, gdyż mogą one pracować wspólnie.

W zastosowaniu do pojazdów szynowych z napędem spalinowym najbardziej racjonalnym będzie układ hybrydowy szeregowy ponieważ [15, 17, 23]:

- silnik spalinowy może pracować w węższym zakresie obrotów
- unika się szybkich zmian prędkości i obciążenia oraz dodatkowej emisji składników toksycznych spalin do atmosfery



Rys. 1 – Szeregowe i równoległe napędy hybrydowe w zastosowaniu do pojazdów drogowych

- silnik spalinowy pracuje w optymalnym zakresie a jego jednostkowe zużycie oleju napędowego jest najmniejsze
- zasięg pojazdu (pociągu) jest duży mimo małej mocy zespołu prądotwórczego.

Pomysł pojazdu hybrydowego pochodzi z końca 1905 r., kiedy po raz pierwszy zastosowano w samochodzie silnik elektryczny wspomagający pracę silnika spalinowego. Zbudowano kilka takich pojazdów hybrydowych, a ich produkcja zakończono około 1912 r. w chwili gdy zaczęły powstawać coraz mocniejsze silniki spalinowe [18]. Niektóre publikacje uznają jako pierwszy pojazd hybrydowy z napędem spalinowo-elektrycznym wykonany przez firmę Austro-Daimler w 1909 r. ciągnik artyleryjski, a pierwszy samochód osobowy z tym napędem wyprodukowała w 1914 r. kanadyjska firma Galt.

Mimo wielu korzyści związanych przede wszystkim z mniejszym zużyciem paliwa pojazdy samochodowe, a zwłaszcza zastosowane w nich układy hybrydowe nie wzbudziły zainteresowania i nie były rozwijane.

Jeszcze w 1974 r. podjęto próbę zbudowania samochodowej hybrydy (z własnych środków) wykorzystując – 20 kW silnik elektryczny prądu stałego, silnik spalinowy Wankla z Mazdy RX-2 oraz osiem akumulatorów policyjnych. Mimo niewielkiego zużycia oleju napędowego projekty, wraz z zakończeniem kryzysu paliwowego zostały zaniechane.

Dopiero pod koniec lat dziewięćdziesiątych XX w. japońska firma Toyota zaoferowała samochód Prius z napędem dwusilnikowym – spalinowym benzynowym i elektrycznym. W czasie rozruchu w samochodzie pracuje silnik elektryczny, a przy prędkościach ustalonych silnik spalinowy, który podczas jazdy i hamowania ładuje akumulatory (zasobniki energii) wykorzystywane następnie podczas ruszania. Obecnie wiele znanych firm samochodowych prowadzi prace nad układami napędów hybrydowych [18, 23].

Znane są również napędy hybrydowe stosowane w autobusach i trolejbusach. Natomiast wprowadzanie „hybryd” do pojazdów szynowych zaczęło się stosunkowo niedawno – od około dziesięciu lat dla pojazdów trakcji elektrycznej i od kilku lat dla lokomotyw spalinowych.

2.1. Zastosowanie napędów hybrydowych w pojazdach komunikacji miejskiej

Głównym celem stosowania napędów hybrydowych w pojazdach komunikacji miejskiej – autobusy, trolejbusy, tramwaje, czyli połączenia napędu spalinowego i elektrycznego jest również możliwość odzyskiwania energii hamowania i jej późniejsze wykorzystywanie podczas ruszania i przyspieszania pojazdu [2, 3, 4, 8, 12].

W autobusach miejskich stosowane są układy hybrydowe szeregowy, równoległy i mieszane szeregowo-równoległy [10, 11].

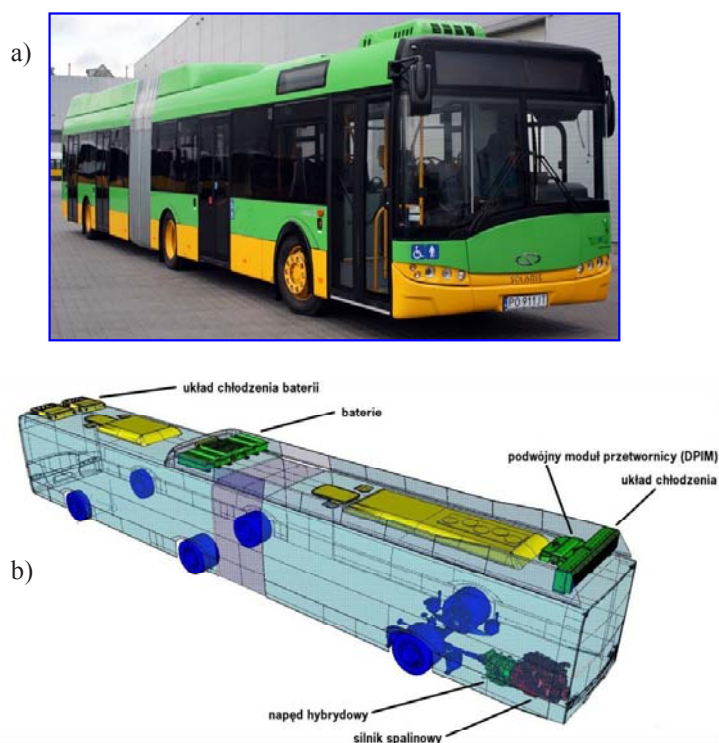
Zaletami hybrydy szeregowy w autobusach jest modułowość budowy, duży stopień swobody przy projektowaniu autobusu, możliwość realizacji większej liczby napędzanych osi lub realizowanie napędu na wszystkie koła, możliwość ładowania akumulatorów lub zasobników z zewnątrz, komfortowe przyspieszenie bez przełączania biegów, możliwość realizacji jazdy „zero emission”, pracy silnika w optymalnym zakresie, wydłużenie żywotności układu hamulcowego, zastosowanie różnych źródeł energii i różnych zasobników energii. Głównymi wadami hybrydy szeregowy są wysokie koszty dodatkowe związane z koniecznością stosowania dużych silników elektrycznych i większej elektroniki mocy oraz duża masa dodatkowych komponentów.

Natomiast zaletami hybrydy równoległej jest mała masa, wysoka efektywność, oszczędność w zużyciu paliwa w ruchu miejskim oraz przy dużych prędkościach, pozostawienie konwencjonalnego pasma napędu oraz sumowanie napędu silnika spalinowego i elektrycznego, a wadami są mała modułowość, brak możliwości jazdy „zero emission” oraz konieczność zastosowania automatycznej skrzyni biegów i mechanicznego sumatora.

Przykładowe hybrydy autobusowe to między innymi Mercedes-Benz Citaro, MAN Lian, Volvo 7700 oraz Solaris Urbino 18 Hybrid II generacji [11].

Podstawowe dane techniczne wybranych hybryd autobusowych przedstawiono w tabelicy 1.

Natomiast układ hybrydowy „mieszany” zastosowany w autobusie Solaris Urbino 18 Hybrid II generacji przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2 – Autobus Solaris Urbino 18 Hybrid II generacji (a) oraz zastosowany w nim układ hybrydowy (b)

L. p.	Parametry/ urządzenia	MAN Lion's City	Solaris Urbino II	Volvo 7700	Solaris Urbino 18 Hbryd II generacja
1	Silnik/producent	MAN	MERCEDES	VOLVO	CUMMINS
2	Typ silnika/model	D0836LOH	OM924LA	MD5	ISBe5
3	Moc (kW przy obr/min)	191 kW (260 KM) przy 1800 obr/min	160 kW (218 KM) przy 2200 obr/min	158 kW (212 KM) przy 2200 obr/min	180 kW (250 KM) przy 1800 obr/min
4	Silnik elektryczny	2 silniki asynchroniczne o mocy 75 kW każdy	4 silniki o mocy 80 kW każdy napięcie 650 V DC	I-SAM 120 kW 800 Nm	2 silniki o mocy 75 kW każdy wbudowane w skrzynię biegów Ev50
5	prostownik	Prostownik impulsowy w technologii IGBT	-	Przetwornik PEC DC/AC	Układ DPIM o mocy ciągłej 160 kW
6	Układ magazynowania energii	Bateria kondensatorów ultra-caps o pojemności 0,4 kWh i mocy 200 kW	Akumulator litowo-jonowy o mocy 170 kW	Akumulatory litowo-jonowe o pojemności	Układ ESS – akumulator NiMH (450 A, 624 V DC)
7	Generator	Generator synchroniczny o mocy 150 kW	Generator synchroniczny	I-SAM	-
8	Masa pojazdu (kg)	13 600	16 600	-	17 800
9	Typ układu hybrydowego	Szeregowy	Szeregowy	Równoległy	Mieszany

Przykładami zastosowania napędowych układów hybrydowych w trolejbusach są układy z kondensatorowym i akumulatorowym zasobnikiem energii.

Pierwszy z nich został zbudowany w trolejbusie Jelcz M121 eksploatowanym w Kownie na Litwie i został dobudowany do istniejącego układu napędowego z silnikiem prądu stałego napędzanego z przekształtnika tranzystorowego. W skład obwodu głównego trolejbusu z kondensatorowym zasobnikiem energii wchodzi: wyłącznik szybki nadmiarowy, stycznik liniowy, przekształtnik ładowania kondensatora, moduł kondensatorowego zasobnika energii, kondensator filtra sieciowego, przekształtnik zwrotu energii do sieci trakcyjnej, przekształtnik tranzystorowy do napędu silników prądu stałego, opornik hamowania i silnik trakcyjny.

Kondensatorowy zasobnik energii może być stosowany w napędach z silnikami prądu stałego jak i z silnikami prądu zmiennego (asynchronicznym) z falownikiem [4].

Drugi z układów został wykonany dla trolejbusu Jelcz PR110 eksploatowanego przez MPK Lublin. W skład układu wchodzi aparaty i urządzenia układu z kondensatorowym zasobnikiem energii oraz dodatkowo przekształtnik ładowania baterii akumulatorów oraz bateria akumulatorów [4].

Układy wykonane w latach 2007-2008 przez Instytut Elektrotechniki dają możliwość przejazdu bez zasilania z sieci około 400 m przy zastosowaniu zasobnika kondensatorowego oraz około 1200 ÷ 2000 m przy zastosowaniu dodatkowej baterii, a odzysk energii wynosi około 30 ÷ 35 %. Oba trolejbusy przedstawiono na rys. 3.

Również w tramwajach a także w elektrycznych zespołach trakcyjnych coraz częściej zaczyna się stosować układy związane z odzyskiem energii uzyskiwanej między innymi podczas hamowania oraz jej akumulowaniem w wysokowydajnych zasobnikach [13].

Ciekawymi przykładami są rozwiązania zastosowane przez Instytut Elektrotechniki w Warszawie oraz firmę Siemens [2, 3, 12].

a)



b)



Rys. 3 – Trolejbus Jelcz M121 z kondensatorowym zasobnikiem energii (a) i trolejbus Jelcz PR110 z kondensatorowym i akumulatorowym zasobnikiem energii (b)

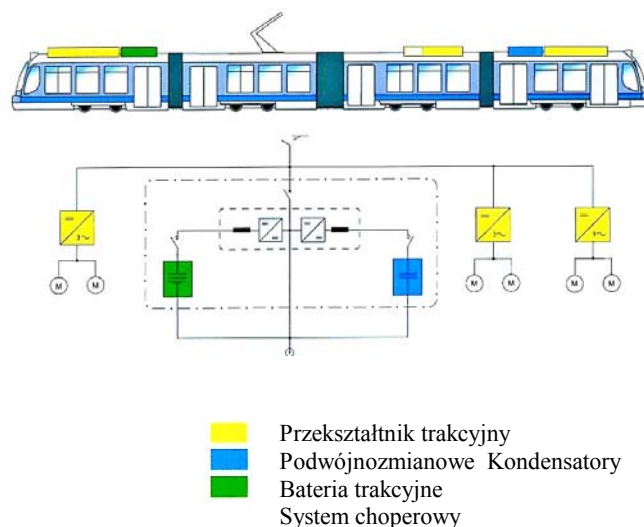
Pierwsze rozwiązanie z akumulatorowym zasobnikiem energii zabudowano na tramwaju typu 116 eksploatowanego przez Tramwaje Warszawskie. Wybrano akumulatory firmy Hoppecke, a ich parametry zostały tak dobrane by na zakładanym odcinku jazdy bez sieci zasilającej zapewnić długi czas eksploatacji. Układ obwodu głównego podczas jazdy przy zasilaniu z sieci trakcyjnej nie uległ zmianie, a zasobnik akumulatorowy włączono w obwód poprzez dodatkowy przekształtnik oraz stycznik. Zasobnik akumulatorowy podczas ruchu jest włączony i wspomaga rozruch, gdy wartość napięcia sieci jest niższa od napięcia baterii oraz przejmuje energię hamowania. Podczas jazdy bez zasilania z sieci bateria dostarcza całą energię niezbędną na przejazd 6-kilometrowego odcinka. Widok tramwaju w którym zastosowano akumulatory zasobnik energii przedstawiono na rys. 4 [2].



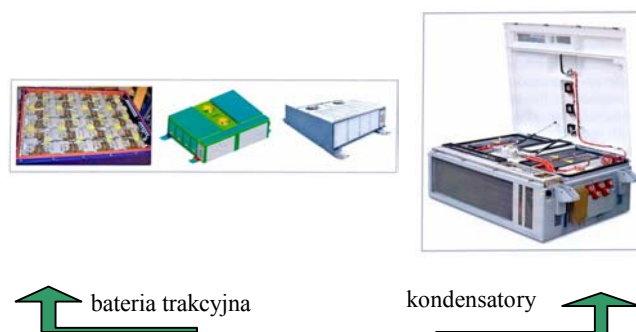
Rys. 4 – Tramwaj typu 116N z akumulatorowym zasobnikiem energii

Drugie rozwiązanie zastosowano w tramwaju Combino Plus MST wykorzystując mobilne zasobniki do magazynowania energii hamowania (w przypadku braku możliwości przekazywania odzyskanej energii do sieci trakcyjnej) wykorzystanej następnie podczas jazdy tramwaju bez sieci trakcyjnej.

Schemat układu magazynowania energii i widok tramwaju przedstawiono na rys. 5, a główne moduły na rys. 6.



Rys. 5 – Schemat układu magazynowania energii oraz jego widok zabudowany na tramwaju Combino Plus MST



Rys. 6 – Główne moduły (bateria trakcyjna, kondensatory) hybrydowego układu zastosowanego w tramwaju Combino Plus MST

Wprowadzenie układu w tramwaju Combino pozwoliło zaoszczędzić 30 % energii trakcyjnej oraz zmniejszyć emisję CO₂ do atmosfery.

2.2. Zastosowanie napędów hybrydowych w lokomotywach spalinowych

W ostatnich latach również zaczęto wprowadzać napędy hybrydowe w spalinowych pojazdach szynowych, przede wszystkim w lokomotywach dla poprawy ich oddziaływania na środowisko naturalne jak również dla obniżenia zużycia oleju napędowego. Mimo tego, że ich rozwój jest dopiero w początkowym stadium, to takie firmy jak General Electric, Railpower Technologies Corp, Alstom, Bombardier wdrożyły do eksploatacji lokomotywy hybrydowe

modernizując starsze wiekiem spalinowe lokomotywy liniowe i manewrowe [5, 6, 7, 14, 16, 19, 20, 21, 22]. W 2007 r. Ceneral Electric w ramach strategii Eco-magination zbudowała pierwszą na świecie hybrydową lokomotywę towarową. Lokomotywa GE Evolution ® Hybrid magazynuje energię pozyskiwaną w procesie hamowania w wysokowydajnych akumulatorach wykorzystując ją w razie potrzeby jako dodatkowe źródło zasilania wydajnie zmniejszając emisję szkodliwych gazów oraz redukując zużycie oleju napędowego.

Nowa lokomotywa jest napędzana silnikiem spalinowym i silnikami elektrycznymi dysponując mocą 4400 KM, a energia zmagazynowana w akumulatorach zmniejsza zużycie oleju napędowego około 15 % i emisję szkodliwych gazów nawet o 50 %. Lokomotywa jest więc bardziej przyjazna dla środowiska oraz wykazuje lepsze osiągi na wyższych wysokościach i przy bardziej stromych wzniesieniach w porównaniu do obecnie eksploatowanych trakcyjnych lokomotyw dzięki dodatkowej (około 2000 KM) energii zmagazynowanej w akumulatorach [16].

Wyliczono, że energia odzyskiwana podczas hamowania ważące 207 ton lokomotywy w czasie jednego roku wystarczyłaby do zasilania w tym samym czasie 160 gospodarstw domowych [16].

Widok zmodernizowanej lokomotywy GE Evolution Hybrid przedstawiono na rys. 7.



Rys. 7 – Spalinowa lokomotywa hybrydowa 2010 GE Evolution Hybrid firmy General Electric

W Europie firma Alstom wykorzystując manewrową lokomotywę spalinową serii 202 wykonała prototyp lokomotywy hybrydowej. W lokomotywie tej energię odzyskiwaną podczas hamowania magazynuje się w akumulatorach, które są ładowane także na postoju. Układ napędowy tworzą silnik spalinowy TCD 2013 L6 4V firmy Deutz o mocy 238 kW, prądnica synchroniczna PME firmy Hause Kirsch o mocy 200 kW, dwa silniki trakcyjne prądu zmiennego o mocy 213 kW oraz baterie akumulatorów firmy Hoppecke. Masa zastosowanych baterii wynosi około 5200 kg.

Wg danych producenta zastosowanie napędu hybrydowego zapewnia 40 % oszczędności w zużyciu paliwa i emisji dwutlenku węgla w trakcie pracy pociągowej oraz 75 % podczas pracy na biegu jałowym. Lokomotywa emituje także 60 % mniej zanieczyszczeń cząsteczkami stałymi i 40 % tlenku i dwutlenku

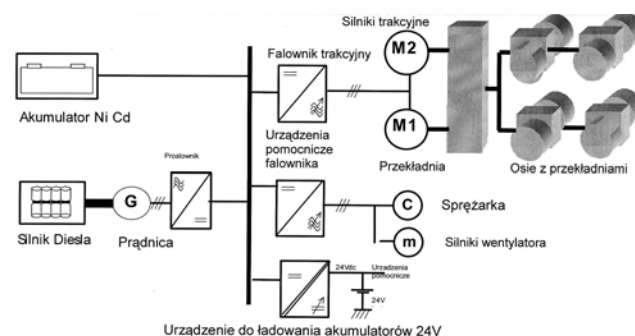
azotu.

Pomiędzy cyklami ładowania baterii lokomotywa może być eksploatowana w tunelach i halach nie emitując żadnych zanieczyszczeń, emituje hałas niższy o 15 dB, a ponadto koszty jej utrzymania są niższe o 15 % w porównaniu z tradycyjnymi lokomotywami manewrowymi [6, 21].

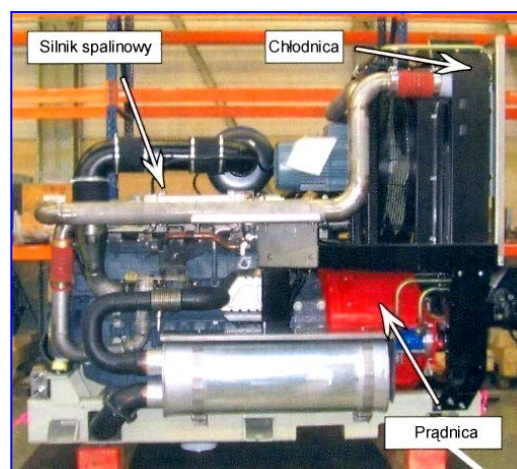
Widok ogólny lokomotywy przedstawiono na rys. 8, schemat obwodu głównego na rys. 9, natomiast zespół napędowy i wysokowydajne akumulatory na rys. 10 i 11.



Rys. 8 – Hybrydowa lokomotywa spalinowa BR203 firmy Alstom



Rys. 9 – Schemat obwodu głównego i napędowego lokomotywy hybrydowej BR203 firmy Alstom



Rys. 10 – Widok zabudowanego zespołu napędowego lokomotywy hybrydowej BR203

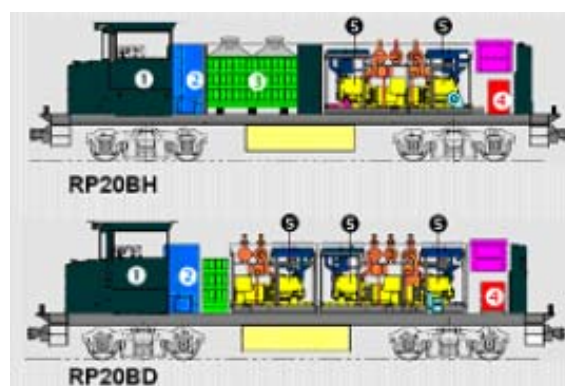
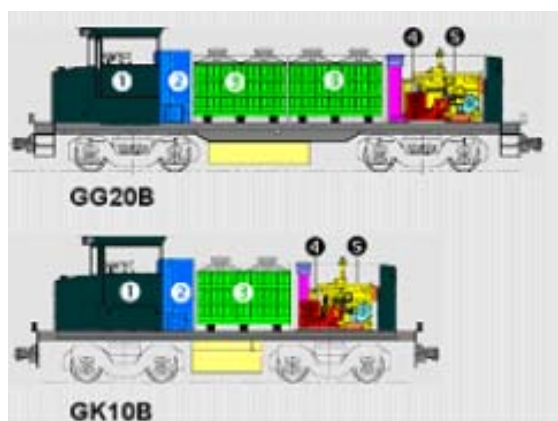


Rys. 11 – Widok wysokowydajnych baterii akumulatorów lokomotywy hybrydowej BR203

Największe osiągnięcia we wdrożeniu hybrydowych układów napędowych w lokomotywach spalinowych ma w Europie firma Railpower Technologies Corp, która przekształciła kilkadziesiąt sztuk lokomotyw spalinowych w lokomotywy hybrydowe do prac manewrowych i liniowych [19]. Idea napędu hybrydowego polega na tym, że zespół prądotwórczy złożony z silnika spalinowego i prądnicy synchronicznej wytwarza energię elektryczną, która następnie jest magazynowana w wysokowydajnych zasobnikach energii o określonej liczbie (w zależności od przeznaczenia lokomotywy) modułów.

Energia wytwarzana i magazynowana przeznaczona jest do zasilania poprzez przekształtnik silników trakcyjnych. W zależności od zapotrzebowania silniki te mogą być zasilane zarówno z prądnicy głównej, jak i z baterii akumulatorów, a optymalnym wykorzystaniem energii steruje system mikroprocesorowy [19]. Widok ogólny wybranych lokomotyw firmy Railpower Technologic Corp przedstawiono na rys. 12, ich modułowej konstrukcji na rys. 13, a podstawowe parametry lokomotywy w tabelicy 2.

Rys. 12 – Lokomotywy hybrydowe firmy Railpower Technologic Corp a) GG20B; b) RP20BH



1. kabina maszynisty, 2. wyposażenie elektryczne 3. bateria-zasobnik, 4. sprzężarka, 5. zespół prądotwórczy

Rys.13 – Modułowe konstrukcje lokomotyw hybrydowych firmy Railpower Technologic Corp

Jak wspomniano wcześniej napęd hybrydowy w lokomotywach spalinowych jest wprowadzony na lokomotywach modernizowanych lub wycofywanych z eksploatacji. Przykładowy proces wprowadzenia tego typu napędu stosowany przez firmę Railpower Technologies Corp przedstawiono na rys. 14.

3. Wstępna koncepcja hybrydowego układu napędowego krajowej spalinowej lokomotywy manewrowej

W kraju napędy hybrydowe w zastosowaniu do lokomotyw spalinowych nie były i nie są dotychczas rozwijane, a należy sądzić że zainteresowanie nimi będzie coraz większe wraz ze wzrostem cen oleju napędowego jak i ostrych wymagań w zakresie ograniczenia emisji do atmosfery składników toksycznych zawartych w spalinach.

Obecnie wstępne prace nad wprowadzeniem napędów hybrydowych w zastosowaniu do lokomotywy manewrowej rozpoczęto w Instytucie Pojazdów Szynowych „Tabor” w Poznaniu. Przyjęto założenie że najbardziej racjonalny efekt uzyska się przy jednoczesnym zastosowaniu w lokomotywach hybrydowych

a)



b)



Podstawowe parametry hybrydowych lokomotyw spalinowych firmy Railpower Technologies Corp
Tablica 2

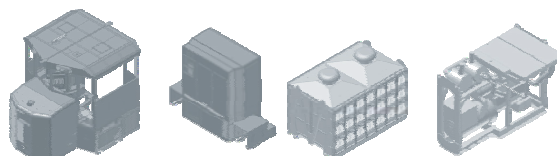
	Typ lokomotywy i przeznaczenie			
	Manewrowa GK10B	Manewrowa GG20B	Liniowa RP20BH	Liniowa RP20BD
Moc lokomotywy [kW]	1000	1000	1000	2000 (ciągła)
Moc silnika [kW]	120, 90	268, 200	667, 500 (dwa silniki)	667, 500 (trzy silniki)
Napięcie [V] pojemność baterii [Ah]	700, 600	700, 1200	700, 600	Bateria pełni funkcje pomocnicze



Recykling komponentów, materiałów i elementów



Rama lokomotywy po demontażu kabiny i przedziałów maszynowych (do wykorzystania w lokomotywie hybrydowej)



Nowe moduły i układy napędu hybrydowego

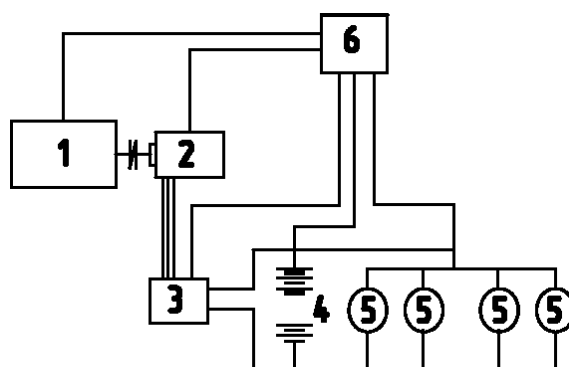
Rys. 14 – Proces wprowadzenia napędów hybrydowych w modernizowanych lokomotywach spalinowych przez firmę Railpower Technologies Corp

nowoczesnych zespołów prądotwórczych tj. silników spalinowych spełniających najnowsze wymagania w zakresie zużycia oleju napędowego i środków smarnych oraz wymagań w zakresie emisji do atmosfery substancji szkodliwych w tym CO, HC, NO_x i cząstek stałych.

Prace modernizacyjne najbardziej znanej i wyprodukowanej w około 2000 szt. spalinowej lokomotywie manewrowej serii SM42 (typu 6D), która mogłaby służyć jako poligon doświadczalny dla wdrożenia układów hybrydowych już się rozpoczęły. Obecnie wykonano lokomotywy tej serii z jednym i z dwoma zespołami prądotwórczymi.

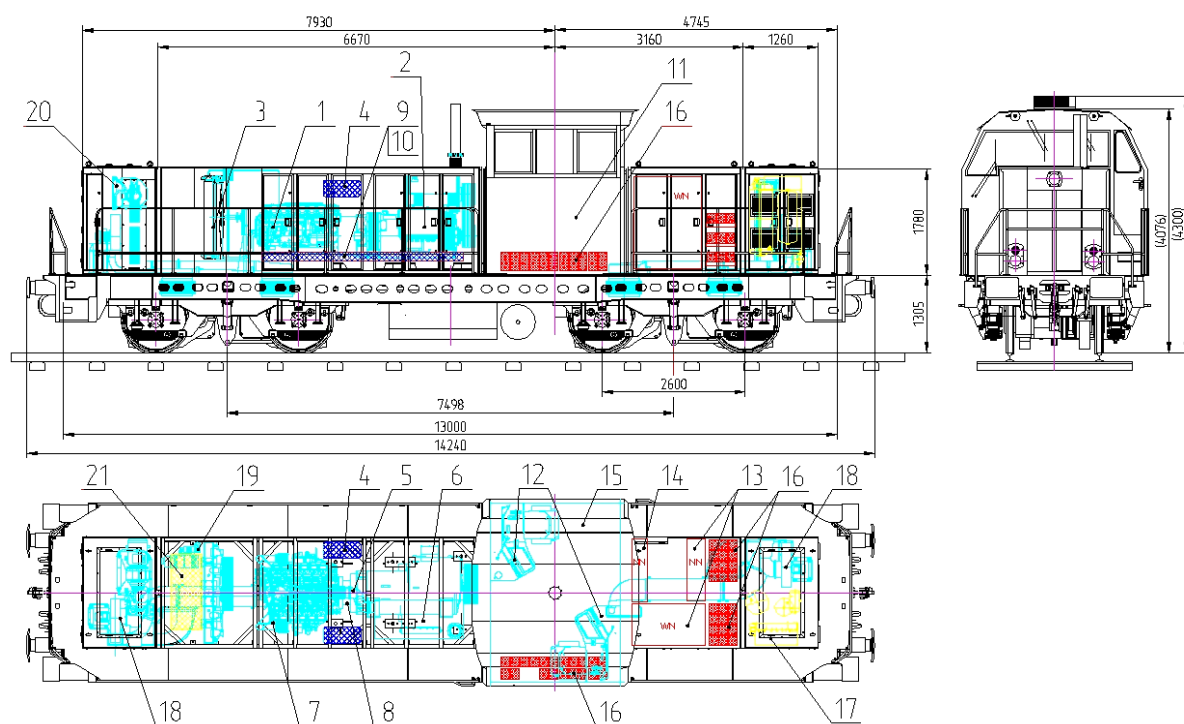
Ponadto układy hybrydowe można by było z powodzeniem zastosować w lekkich lokomotywach spalinowych typu 401Da i 409Da, ciężkich lokomotywach typu 311D (SM31), a w dalszej przyszłości ciężkich spalinowych lokomotywach liniowych.

Wstępny schemat blokowy dla czteroosiowej lokomotywy manewrowej przedstawiono na rys. 15.



1 – silnik spalinowy; 2 – prądnica synchroniczna; 3 – prostownik; 4 – akumulatory lub wysoko-wydajne zasobniki energii; 5 – silniki trakcyjne; 6 – układ sterowania mikroprocesorowego.

Rys. 15 – Wstępny schemat blokowy napędu hybrydowego manewrowej lokomotywy spalinowej



1 – silnik spalinowy; 2 – zespół prądnic synchronicznych; 3 – chłodnica/wentylator; 4 – filtr powietrza; 5 – rury wydechowe; 6 – tłumik wydechu; 7 – rury powietrza doładowania; 8 – sprzęgło główne; 9 – rama podsilnikowa/amortyzator; 10 – belka podsilnikowa; 11 – kabina maszynisty; 12 – pulpity sterownicze; 13 – szafy WN, NN; 14 – tablica NN; 15 – skrzynia prostowników/falowników; 16 – skrzynia akumulatorów; 17 – tablica pneumatyczna; 18 – wentylatory silników trakcyjnych; 19 – podgrzewacz Webasto; 20 – agregat sprężarkowy; 21 – wylot powietrza z chłodnicy.

Rys. 16 – Rozmieszczenie maszyn i urządzeń oraz akumulatorów w modernizowanej lokomotywie czteroosiowej z zabudowanym układem hybrydowym

W układzie tym silnik spalinowy poprzez prądnice synchroniczną i prostownik ładuje baterie lub zasobniki (wysokowydajne akumulatory). Po naładowaniu baterie zasilają silniki trakcyjne. W proponowanej koncepcji założono pozostawienie istniejących silników trakcyjnych zwiększając ilość baterii (nawet kilkakrotnie), tak by silniki trakcyjne mogły rozwijać pełną moc.

Ponadto zabudowany mniejszy silnik spalinowy będzie pracował na optymalnych charakterystykach przy prędkościach ustalonych, co zdecydowanie obniży jednostkowe zużycie oleju napędowego i wydłuży jego trwałość. Dodatkową zaletą proponowanego układu hybrydowego będzie wykorzystanie do ładowania baterii energii odzyskiwanej w procesie hamowania, a ponadto stosując napęd hybrydowy możliwe będzie zmniejszenie mocy i masy silnika spalinowego oraz optymalizacja jego charakterystyk, tak by wykluczyć pracę z mocami cząstkowymi, a w przypadku większego zapotrzebowania na moc wykorzystać energię zgromadzoną w bateriach.

Przykładowe rozmieszczenie maszyn i urządzeń w modernizowanej spalinowej manewrowej lokomotywie z proponowanym układem hybrydowym przedstawiono na rys. 16.

Wstępna analiza zapotrzebowania na akumulatory (lub wysokowydajne zasobniki energii) dla następujących parametrów silnika trakcyjnego:

- praca ciągła:
 - moc 173 kW
 - napięcie 703 V
 - prąd 272,5 A
 - obroty 475 1/min
- praca godzinna:
 - moc 170 kW
 - napięcie 620 V
 - prąd 310 A
 - obroty 410 1/min.

wykazał, że dla pracy manewrowej przy założeniu ładowania baterii zarówno z zespołu prądotwórczego jak i energią uzyskaną z odzysku podczas hamowania niezbędne będzie zastosowanie (dla pracy ciągłej silników) około 120 akumulatorów o masie nie przekraczającej 2500 kg (np. akumulatorów firmy Hawker) charakteryzujących się następującymi parametrami:

- pojemność – 42 Ah
- prąd rozruchowy – 550 A (wg DIN w – 18°C) i 860 A (wg EN w 20°C)
- wymiary – 200x170x173 mm
- masa – 17,5 kg
- zakres pracy – -60 ÷ +70°C.

4. Podsumowanie

W ostatnich latach prowadzone prace konstrukcyjne i badawcze w zakresie środków transportu, w tym środków transportu szynowego związane są w szczególności z ograniczeniem jego wpływu na środowisko naturalne.

Biorąc pod uwagę coraz wyższe ceny olejów napędowych jako nośnika energii w spalinowych pojazdach trakcyjnych należy zdecydowanie dążyć do ograniczenia jego zużycia, a tym samym poprawę efektywności przewozów w ruchu pasażerskim i towarowym. Światowy rozwój napędów hybrydowych w zastosowaniu do pojazdów drogowych oraz pojazdów szynowych trakcji spalinowej powinien być impulsem dla realizacji prac konstrukcyjnych i badawczych w kraju.

Jednym z ewentualnych rozwiązań jest zastosowanie napędów hybrydowych w modernizowanych lokomotywach spalinowych manewrowych przeznaczonych coraz częściej do ruchu liniowego.

Oczywistym jest że poniesione początkowe wysokie koszty wprowadzenia nowych układów i systemów zwrócą się szybko, a największe korzyści osiągnie się poprzez zmniejszenie emisji składników toksycznych zawartych w spalinach oraz ograniczenie tzw. „efektu cieplarnianego”.

Literatura

- [1] Garda J.: *Napęd hybrydowy z odzyskiem energii w pojazdach szynowych*. Praca niepublikowana (maszynopis) IPS „Tabor” Poznań, 2009.
- [2] Gąsiewski M.: *Tramwaj z akumulatorowym zasobnikiem energii – wyniki eksploatacji*. Technika Transportu Szynowego, 2007, nr 1 i 2.
- [3] Giziński P.: *Kondensatorowy zasobnik energii do pojazdów trakcji elektrycznej*. Technika Transportu Szynowego, 2007, nr 1 i 2.
- [4] Giziński Z., Żuławnik M.: *Modernizacja i budowa czystego taboru szynowego dla transportu publicznego na terenie miast i na obszarach metropolitalnych*. Pojazdy Szynowe, 2009, nr 3.
- [5] Hiller K.: *Visionen zum Thema Rangierlokomotiven*. ZEV rail, 2010, nr 134.
- [6] Lehnert M., Klausner S.: *Auslegung und Steuerung mobiler Traktionsenergiespeicher*. Elektrische Bahnen, 2009, nr 9.
- [7] Masek A.: *Lokomotywa hybrydowa firmy Alstom*. Prezentacja, 09.2006.
- [8] Marciniak Z.: *Modernizacja i budowa czystego taboru szynowego dla transportu publicznego na terenie miast i na obszarach metropolitalnych*. Pojazdy Szynowe, 2009, nr 3.
- [9] Marciniak Z.: *Hybrydowe układy napędowe lokomotyw spalinowych*. Logistyka, 2010, nr 4.
- [10] Marciniak Z., Michalak P., Jakuszko W.: *Ocena pojazdów komunikacji miejskiej w zakresie zmniejszenia energochłonności na podstawie przeprowadzonych analiz wybranych podzespołów funkcjonalnych*. Praca niepublikowana IPS „Tabor” Poznań, 2010.
- [11] Marciniak Z., Michalak P., Jakuszko W.: *Możliwości zastosowania nowych rozwiązań w pojazdach komunikacji miejskiej na podstawie przeprowadzonych analiz parametrów technicznych wybranych podzespołów funkcjonalnych*. Praca niepublikowana IPS „Tabor” Poznań, 2010.
- [12] Meinert M.: *Einsatz neuer Energiespeicher auf Strassenbahnen*. ZEV rail, 2008, nr 133.
- [13] Olszowiec P.: *Rozwój zasobników energii elektrycznej wielkiej mocy. Super kondensatory i akumulatory ratują systemy elektroenergetyczne*. Energia Gigawatt, 01.2009.
- [14] Ostra J., Dunger W.: *Hybrid – Rangierlokomotive: Technik und Anwendungen*. ZEV rail, 2009, nr 9 (133).
- [15] Pawełczyk M.: *Rozwój systemów wykorzystujących akumulację energii w transporcie szynowym*. Materiały XIX Konferencji Naukowej „Pojazdy Szynowe” Kraków – Targanice k. Andrychowa, 2010.
- [16] Stanisławski M.: *210 000 części pracujących razem*. Design News Polska, 2007, nr 07/08.
- [17] Szumanowski A.: *Projektowanie napędów hybrydowych pojazdów z silnikiem spalinowym*. Combustion Engines, 2009, nr 1 (136).
- [18] Wouk V.: *Pojazdy z napędem hybrydowym*. Świat Nauki, 12.1997.
- [19] *Ekologiczna moc hybrydy*. Materiał reklamowy firmy Railpower Technologies Corp.