

Zygmunt Marciniak
Instytut Pojazdów Szynowych „Tabor”

HYBRYDOWE UKŁADY NAPĘDOWE LOKOMOTYW SPALINOWYCH

Streszczenie: Referat jest poświęcony wprowadzeniu hybrydowych układów napędowych w pojazdach trakcji spalinowej. Zaprezentowano w nim osiągnięcia innych krajów we wdrażaniu do eksploatacji pojazdów miejskich (tramwaje, trolejbusy, autobusy) oraz lokomotyw z układami hybrydowymi, a także wynikające z tego korzyści, zwłaszcza w ograniczeniu zużycia energii i emisji substancji szkodliwych do atmosfery.

Ponadto przedstawiono propozycję zabudowy układu hybrydowego w modernizowanej spalinowej lokomotywie manewrowej.

Słowa kluczowe: lokomotywa, napęd hybrydowy, wysokowydajne zasobniki energii.

1. WROWADZENIE

W ostatnich latach coraz bardziej zwraca się uwagę na ograniczenie szkodliwego oddziaływania środków transportu na środowisko naturalne. Dąży się przede wszystkim do ograniczenia poboru energii z sieci trakcyjnej i wykorzystywania energii odzyskiwanej podczas hamowania, jak i redukcję zanieczyszczeń toksycznych emitowanych do atmosfery przez silniki spalinowe. Ważnym jest również zmniejszenie zużycia jednostkowego paliw i środków smarnych w odniesieniu do spalinowych pojazdów trakcyjnych.

Działania mające na celu zmniejszenie negatywnego oddziaływania transportu kolejowego na środowisko naturalne poprzez redukcję zanieczyszczeń oraz zmniejszenie jednostkowego zużycia energii widoczne są zarówno w krajach Ameryki Północnej, jak i w Europie Zachodniej, w której w czerwcu 2006 roku wydano dekret pt. "Keep Europe Moving" stanowiący rewizję Białej Księgi uchwalonej w 2001 roku i odnoszącej się do całego transportu.

Duże więc nadzieje wiąże się z wprowadzeniem do eksploatacji hybrydowych pojazdów trakcyjnych. Najbardziej zaawansowane projekty wdrażania do eksploatacji napędów hybrydowych można spotkać w pojazdach, takich jak, trolejbusy, tramwaje i elektryczne zespoły trakcyjne. W odniesieniu do pojazdów trakcji spalinowej prace związane z wprowadzeniem do eksploatacji napędów hybrydowych są w początkowym stadium realizacji i rozwijane przede wszystkim w wysokoprzemysłowych krajach świata.

Wprowadzenie napędów hybrydowych (systemów wykorzystujących więcej niż jedno źródło energii) powinno dać następujące korzyści [12, 13, 14]:

- odzysk od 30 do 40% energii wykorzystywanej w procesie hamowania
- zmniejszenie od 20 do 60% zużycia paliwa (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
- redukcja poziomu hałasu zewnętrznego i wewnętrznego (w kabinach sterowniczych)
- obniżenie poziomu drgań w kabinach sterowniczych.

Ponadto wprowadzenie napędów hybrydowych w pojazdach trakcji spalinowej pozwoli na pełne wykorzystanie silników elektrycznych, optymalną pracę silnika spalinowego, obniżenie kosztów eksploatacyjnych oraz poprawa komfortu pracy obsługi [1].

Dalsza część referatu będzie poświęcona prezentacji układów hybrydowych zastosowanych za granicą w odniesieniu do pojazdów trakcyjnych oraz propozycję rozwiązania takiego układu w jednej z modernizowanych lokomotyw spalinowych

2. PRZEGLĄD ROZWIĄZAŃ HYBRYDOWYCH WYBRANYCH UKŁADÓW NAPĘDOWYCH

Pierwsze pojazdy hybrydowe z napędem spalinowo-elektrycznym pojawiły się na początku XX wieku, a ich prekursorem był wykonany w 1909 roku ciągnik artyleryjski firmy Austrio – Deimler, natomiast pierwszy hybrydowy samochód osobowy wyprodukowała kanadyjska firma Galt w 1914 roku. Mimo korzyści związanych z mniejszym zużyciem paliwa pojazdy te, a zwłaszcza zastosowane w nich układy hybrydowe nie wzbudziły zainteresowania i nie były rozwijane. 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 [5, 8].

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.

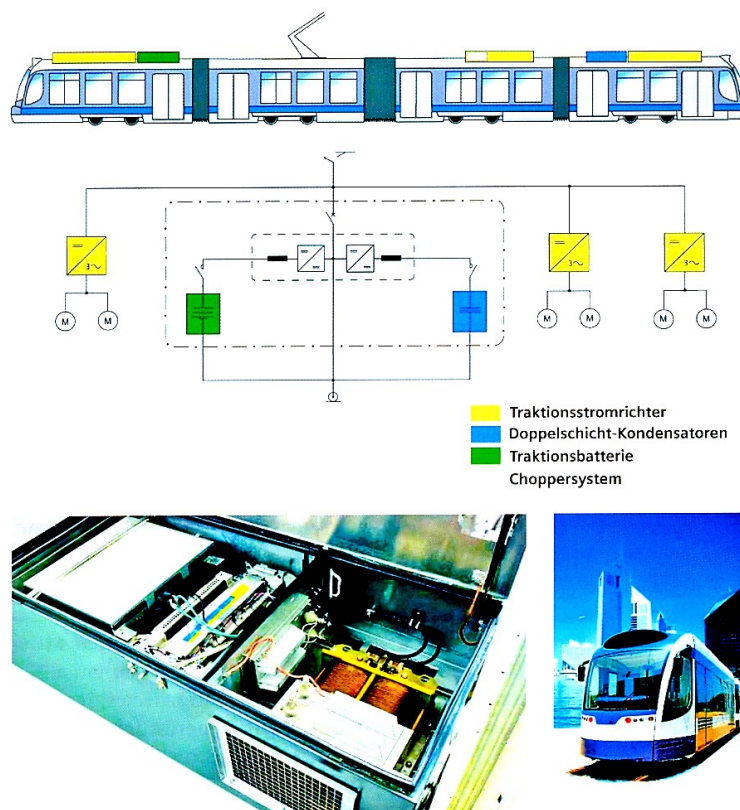
2.1. Napędy hybrydowe zastosowane w pojazdach komunikacji miejskiej (autobusy, trolejbusy, tramwaje)

Głównym celem stosowania napędu hybrydowego w pojazdach komunikacji miejskiej, czyli połączenie napędu spalinowego i elektrycznego jest możliwość odzyskiwania energii hamowania i jej późniejsze wykorzystanie podczas ruszania i przyspieszania [11]. W przypadku pojazdów z napędem tylko elektrycznym, a więc np. trolejbusów, energia

odzyskana podczas hamowania jest akumulowana w wysokowydajnych zasobnikach energii, a następnie wykorzystywana podczas jazdy bez zasilania z sieci trakcyjnej. Przykładem takich rozwiązań są autobusy miejskie firmy Solaris oraz trolejbusy w Lublinie i Kownie (Litwa) doposażone przez Instytut Elektrotechniki w Warszawie [2, 3, 4].

Natomiast w elektrycznych zespołach trakcyjnych oraz tramwajach coraz częściej zaczyna się stosować układy związane z odzyskiem energii uzyskiwanej podczas procesu hamowania oraz jej akumulowaniem w wysokowydajnych zasobnikach.

Ciekawymi przykładami są rozwiązania zastosowane przez Instytut Elektrotechniki w Warszawie oraz firmę Siemens. W pierwszym przypadku zastosowano układ z zasobnikiem energii opartym na akumulatorach firmy Hoppecke. Zasobnik akumulatorowy podczas jazdy tramwaju jest włączony i wspomaga rozruch, a podczas hamowania przejmuje jego energię. W jeździe bez zasilania z sieci cała energia zgromadzona w zasobniku jest wykorzystana do przejazdu założonego odcinka [4]. Należy nadmienić, że zasobnik energii podczas jazdy przy zasilaniu z sieci trakcyjnej poprawia dynamikę jazdy, a także zwiększa efektywność rekuperacji energii. W drugim przypadku wykorzystano mobilne zasobniki energii do magazynowania energii hamowania (w przypadku braku możliwości przekazywania odzyskanej energii do sieci trakcyjnej) wykorzystywanej następnie podczas eksploatacji pojazdu bez sieci trakcyjnej. Widok ogólny układu magazynowania energii zabudowanego na tramwaju Combino Plus MST (firmy Siemens) przedstawiono na rys.1, natomiast poszczególne moduły układu na rys.2 [6, 7].



Rys.1. Układ magazynowania energii w tramwaju Combino Plus MST



Rys.2. Moduły układu hybrydowego w tramwaju Combino Plus MST (bateria trakcyjna, kondensatory)

2.2. Napędy hybrydowe zastosowane w lokomotywach spalinowych

W ostatnich kilku latach dla poprawy „stanu ekologicznego” spalinowych pojazdów szynowych zaczęto wprowadzać również napędy hybrydowe. Mimo tego, że ich rozwój jest w początkowym stadium, to takie firmy, jak General Electric ze Stanów Zjednoczonych oraz europejska Railpower Technologies Corp i Alstom wdrożyły do eksploatacji lokomotywy hybrydowe modernizując starsze wiekiem spalinowe lokomotywy liniowe i manewrowe.

W 2007 roku General Electric w ramach strategii Ecomagination zbudowała pierwszą na świecie lokomotywę towarową przetwarzającą energię uzyskaną podczas hamowania magazynowaną w wysokowydajnych zasobnikach energii i wykorzystywaną następnie na potrzeby własne jako dodatkowe źródło energii. Lokomotywa ta znana pod nazwą GE Evolution Hybrid o masie około 207 ton może zaoszczędzić w ciągu roku tyle energii co zużywa 160 gospodarstw domowych, a ponadto jej eksploatacja znacznie obniża emisję szkodliwych gazów oraz redukuje zużycie paliwa [10]

Widok ogólny lokomotywy pokazuje rys.3.



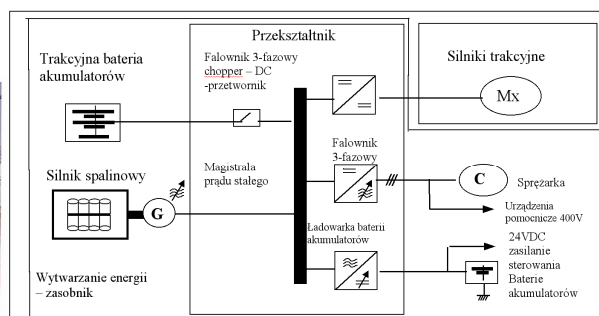
Rys.3. Spalinowa lokomotywa hybrydowa 2010 GE Evolution Hybrid firmy General Electric

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 lokomotywy tworzą silnik spalinowy typu TCD 2013 L6 4V firmy Deutz o mocy 238kW, prądnica synchroniczna PME firmy Hause Kirsch o mocy 200kW, dwa silniki trakcyjne prądu zmiennego o mocy 213kW oraz baterie akumulatorów firmy

Hoppecke. Masa zastosowanych baterii wynosi około 5200kg [9]. Widok ogólny lokomotywy hybrydowej serii 202 przedstawiono na rys.4, a schemat obwodu elektrycznego na rys.5.



Rys. 4. Hybrydowa lokomotywa spalinowa serii 202 firmy Alstom

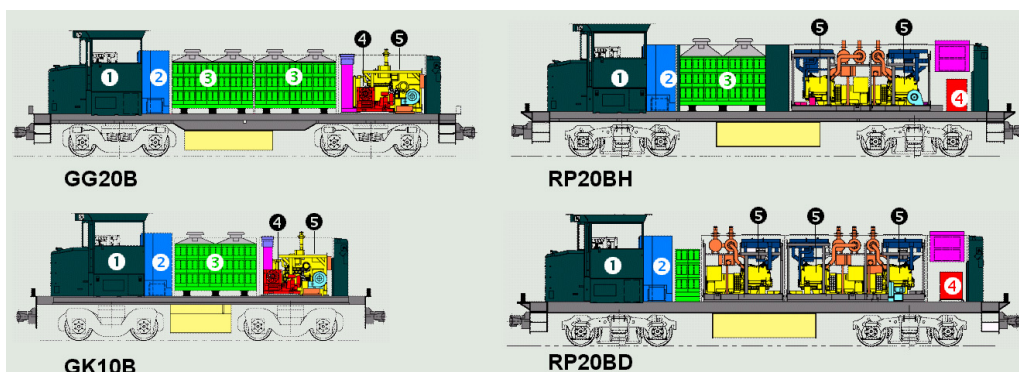


Rys. 5. Schemat obwodu głównego lokomotywy hybrydowej serii 202 firmy Alstom

Największe osiągnięcia we wdrażaniu 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 [12, 14]. 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. Widok ogólny lokomotywy hybrydowej tej firmy przedstawiono na rys.6, a zrealizowane konstrukcje dla określonego przeznaczenia eksploatacyjnego na rys.7.



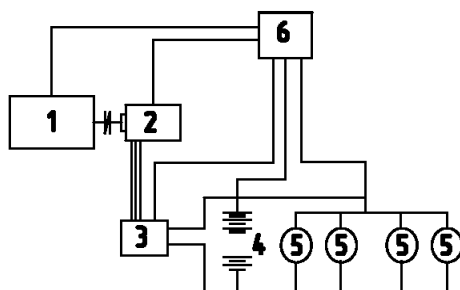
Rys. 6. Lokomotywa hybrydowa GG 20B firmy Railpower Technologies Corp



Rys.7. Modułowe konstrukcje lokomotyw hybrydowych firmy Railpower Technologies Corp
 1. kabina maszynisty, 2. wyposażenie elektryczne 3. bateria-zasobnik, 4. sprzężarka, 5. zespół prądotwórczy

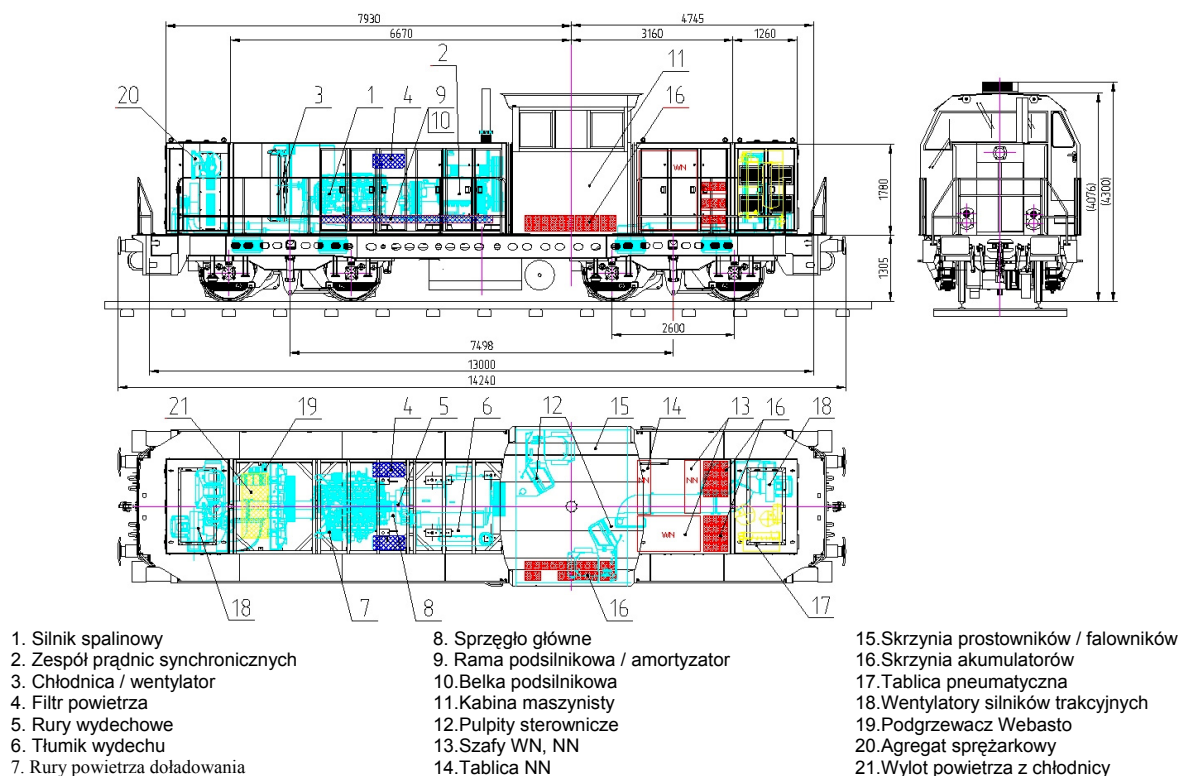
3. PROPOZYCJA KRAJOWEGO HYBRYDOWEGO UKŁADU NAPĘDOWEGO SPALINOWEJ LOKOMOTYWY MANEWROWEJ

W kraju napędy hybrydowe w zastosowaniu do lokomotyw spalinowych nie są dotychczas rozwijane, a należy sądzić, że zainteresowanie nimi będzie wzrastać wraz ze wzrostem cen oleju napędowego, jak i ostrych wymagań w zakresie ograniczenia emisji do atmosfery składników toksycznych zawartych w spalinach. Instytut Pojazdów Szynowych „Tabor” w Poznaniu rozpoczął już wstępne prace nad zastosowaniem napędu hybrydowego w jednej z modernizowanych spalinowych lokomotyw manewrowych. Ponieważ w modernizacji najczęściej wymianie podlega ciężki zespół prądotwórczy na zespół mniejszy i lżejszy, można w miejsce ciężkiego balastu zabudować dodatkowo baterie akumulatorów lub wysokowydajne zasobniki energii. Na rys.8 zaprezentowano schemat blokowy dla lokomotywy czteroosiowej możliwy do zastosowania zarówno w lokomotywie serii SM42, jak i po niewielkich modyfikacjach w lokomotywach typu 401Da i 409Da [1].



Rys. 8. Schemat blokowy napędu hybrydowego:
 1 – silnik spalinowy, 2 – zespół prądnic synchronicznych, 3 – prostownik, 4 – akumulatory lub wysokowydajne zasobniki energii, 5 – silniki trakcyjne, 6 – układ mikroprocesorowy

W układzie przedstawionym na rys.8 silnik spalinowy poprzez prądnicę synchroniczną i prostownik ładuje baterie lub zasobniki (wysokowydajne akumulatory). Po naładowaniu baterie zasilają silniki trakcyjne. W proponowanym projekcie 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. 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 lokomotywie spalinowej serii SM42 z układem hybrydowym przedstawiono na rys.9.



Rys. 9. Rozmieszczenie maszyn i urządzeń oraz akumulatorów w modernizowanej lokomotywie SM42 z zabudowanym układem hybrydowym

Wstępna analiza zapotrzebowania na akumulatory przy pozostawieniu dotychczasowych silników trakcyjnych typu Lsa-430 i mocy 173kW wykazała, że dla pracy manewrowej przy założeniu ładowania baterii zarówno z zespołu prądnicowego jak i energią uzyskaną podczas hamowania niezbędne będzie zastosowanie (dla pracy ciągłej silników) 116 akumulatorów o masie 2100kg. Przyjęto również, że wymagania układu hybrydowego lokomotywy SM42 zapewnią bezobsługowe akumulatory firmy

Hawker o pojemności 42Ah, prądzie rozruchowym 550A (w temp. -18°C) i 860A (w temp. +20°C) utrzymujące temperatury zewnętrzne od -60°C do +70°C. [1].

Na zakończenie należy stwierdzić, że rozwój napędów hybrydowych w kraju w zastosowaniu do lokomotyw spalinowych (z napędem spalinowo-elektrycznym) będzie uzależniony przede wszystkim od zainteresowania potencjalnych odbiorców w szczególności wykorzystujących lokomotywy w pracy manewrowej.

4. PODSUMOWANIE

Prace prowadzone w ostatnich latach w zakresie transportu kolejowego zwracają szczególną uwagę na jego ograniczenie w szkodliwym oddziaływaniu na środowisko naturalne. Biorąc pod uwagę coraz wyższe ceny olejów napędowych wykorzystywanych jako nośnik energii w spalinowych pojazdach trakcyjnych należy zdecydowanie dążyć do ograniczenia jego zużycia, a tym samym poprawę efektywności przewozów zarówno w ruchu pasażerskim, jak i towarowym.

Postępujący rozwój napędów hybrydowych w zastosowaniu do pojazdów trakcji spalinowej w świecie skłaniać powinien do realizacji prac w tym zakresie w kraju. Jednym z rozwiązań mających na celu wydłużenie przebiegów oraz ograniczenie zużycia paliwa i emisji substancji szkodliwych do atmosfery będzie modernizacja najbardziej popularnej lokomotywy serii SM42. Mimo wysokich początkowych kosztów wprowadzania nowych systemów poniesiony koszt zwróci się szybko, a najbardziej oczywistymi korzyściami będzie zmniejszenie emisji składników toksycznych zawartych w spalinach do atmosfery.

Bibliografia

1. Garda J., Marciniak Z.: 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÷2.
3. Giziński P.: Kondensatorowy zasobnik energii do pojazdów trakcji elektrycznej. Technika Transportu Szynowego, 2007, nr 1÷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. Lehnert M., Klausner S.: Auslegung und Steuerung mobiler Traktionsenergiespeichen. Elektrische Bahnen, 2009, nr 9.
6. Marciniak Z.: Modernizacja i budowa czystego taboru szynowego dla transportu publicznego na terenie miast i na obszarach metropolitalnych. Pojazdy Szynowe, 2009, nr 3.
7. Meinert M.: Einsatz neuer Energiespeichen auf Strassen bahnen. ZEVrail, 2008, nr 133.
8. Olszowiec P.: Rozwój zasobników energii elektrycznej wielkiej mocy. Super kondensatory i akumulatory ratują systemy elektroenergetyczne. Energia Gigawatt, 01.2009.
9. Ostra J., Dunger W.: Hybrid – Rangierlokomotive: Technik und Anwendungen ZEVrail, 2009, nr 9 (133)
10. Stanisławski M.: 210 000 części pracujących razem. Design News Polska, 2007, nr 07/08.
11. Szumanowski A.: Projektowanie napędów hybrydowych pojazdów z silnikiem spalinowym. Combustion Engines, 2009, nr 1 (136).
12. Ekologiczna moc hybrydy. Materiał reklamowy firmy Railpower Technologies Corp.

13. Hybridteknik i nya tidens lok (Hybrids bringing a new era for locomotives). Materiały informacyjne, 03.2007.
14. Multi Gensets Locomotives for Canadian Railways. Rail – Government Interface, 2007 (prezentacja firmy svensk tagtechnik AB (Szwecja).

HYBRID POWER TRANSMISION SYSTEMS OF DIESEL LOCOMOTIVES

Abstract: The article is devoted to introduction the hybrid power transmission systems in the vehicles of diesel traction. The achievements of the other countries in introduction to operation the urban vehicles (trans, trolley-buses, buses) and locomotives with the hybrid systems, and also the advantages resulting from it especially in limitation of energy consumption and harmful substances emission into atmosphere are presented in it. Moreover, the proposal of building in the hybrid system in the modernized shunting diesel locomotive is presented in it.

Keywords: locomotive, hybrid drive, highly efficient energy accumulators