

ZASTOSOWANIE UKŁADÓW NAPĘDU HYBRYDOWEGO W POJAZDACH TRANSPORTU MASOWEGO

Streszczenie

W artykule zawarto informacje na temat aktualnych trendów w konstrukcji układów napędowych, montowanych obecnie w pojazdach transportu masowego – kolejowych trakcji spalinowej oraz drogowych użytkowych. Zaprezentowano podział układów napędu hybrydowego, pozwalających na zmniejszenie emisji szkodliwych składników spalin do atmosfery oraz zużycia paliwa przez pojazdy. W artykule dokonano ponadto przeglądu eksploatowanych pojazdów transportu masowego z układami napędu hybrydowego, w tym m.in. lokomotyw spalinowych, samochodów dostawczych i ciężarowych.

WSTĘP

Komisja Europejska przyjęła w ostatnim czasie wszechstronną strategię (*Transport w roku 2050*) zmierzającą do ustanowienia konkurencyjnego systemu transportu, służącemu zwiększeniu mobilności, pokonaniu głównych przeszkód w najważniejszych obszarach branżowego rozwoju oraz pobudzeniu wzrostu zatrudnienia w tym sektorze gospodarki. Przyszłościowe plany mają na celu zdecydowane zmniejszenie zależności Europy od importowanej ropy naftowej oraz redukcję o 60% łącznej emisji dwutlenku węgla w sektorze transportu do roku 2050.

Osiągnięcie ww. celów wymaga dogłębnej transformacji obecnego systemu transportu w kraju, jak i w całej Europie. Wśród najważniejszych celów na rok 2050 należy wymienić:

- miasta wolne od pojazdów o napędzie konwencjonalnym,
- przynajmniej 40% paliw w lotnictwie ma pochodzić ze źródeł odnawialnych i spełniać warunek niskoemisyjności,
- redukcję emisji towarzyszących transportowi morskemu o przynajmniej 40%,
- 50% przesunięcie międzymiastowego ruchu pasażerskiego na średnie dystanse oraz transportu towarów z dróg na tory kolejowe i drogi morskie.

Wszystko to łącznie ma się przyczynić do zmniejszenia sumarycznych emisji w transporcie o 60% w pierwszej połowie obecnego stulecia.

Zgodnie z założeniami strategii rozwoju transportu do roku 2050 wytyczono plan stworzenia konkurencyjnego sektora transportu, który zwiększy mobilność i zredukuje emisję zanieczyszczeń. Konkurencyjne systemy transportu mają istotne znaczenie dla zdolności Polski i Europy do konkurowania z całym światem w dziedzinie wzrostu gospodarczego, tworzenia miejsc pracy i podnoszenia jakości życia obywateli.

W poruszanych aspektach szczególnego znaczenia nabiera przełamanie wieloletniej zależności sektora transportu od oleju napędowego, nie poświęcając przy tym choćby sprawności jednostek napędowych pojazdów. Może być to związane z rozwojem nowoczesnych napędów, w tym hybrydowych.

Aktualnie dostępne na rynku transportowym, oraz na niego stale wprowadzane, układy napędu hybrydowego można podzielić ze względu na różne kryteria. Według kryterium udziału układów napędu elektrycznego w pojeździe wyróżnia się następujące typy [6]: micro hybrid (tzw. system start-stop), mild hybrid (tworzy go system start-stop oraz silnik elektryczny małej mocy), full hybrid (oznacza współdziałanie silnika spalinowego i elektrycznego).

Według drugiego kryterium – konstrukcyjnego układy napędu hybrydowego można podzielić na trzy grupy, a mianowicie: [6]:

- a) równoległe – napęd na koła przenoszony jest przez silnik spalinowy i/lub elektryczny,
- b) szeregowe – napęd na koła przenoszony jest wyłącznie przez silnik elektryczny,
- c) mieszane – przy przenoszeniu mocy i momentu obrotowego na koła pojazdu następuje wykorzystanie zalet napędu szeregowego i równoległego.

1. HYBRYDOWE POJAZDY KOLEJOWE

W kwestii budowy i modernizacji pojazdów szynowych, szczególnie na przestrzeni ostatnich kilku lat, zaobserwować można nasilone działania związane z ograniczaniem ich szkodliwego oddziaływania na środowisko naturalne oraz zmniejszeniem zużycia energii wykorzystywanej w celu wykonywania założonych zadań trakcyjnych i przewozowych (rys. 1). W przypadku pojazdów spalinowych idzie przede wszystkim o zmniejszenie emisji toksycznych składników spalin do atmosfery oraz jednostkowego zużycia paliwa oraz środków smarnych.



Rys. 1. Przykłady nowoczesnych technologii stosowanych w kolejnictwie [10]

W zakresie poruszonych zagadnień należy stwierdzić, że duże nadzieje wiąże się z szerokim upowszechnieniem pojazdów trakcyjnych wyposażonych w układ napędu hybrydowego. Najbardziej zaawansowane projekty wdrażania do eksploatacji układów tego typu można spotkać w pojazdach trakcji elektrycznej, takich jak,

trolejbusy, tramwaje i elektryczne zespoły trakcyjne. W przypadku pojazdów trakcji spalinowej prace związane z wprowadzeniem do użytkowania układów napędu hybrydowego są jak dotąd w mniejszym stadium realizacji i rozwijane głównie w krajach wysoko uprzemysłowionych. Warto w tym miejscu wspomnieć, że zastosowanie układów napędu hybrydowego w pojazdach trakcji spalinowej umożliwia uzyskanie wielu korzyści, w tym m.in. [2, 3, 12]:

- zmniejszenie o 40% emisji węglowodorów i dwutlenku węgla do atmosfery,
- zmniejszenie o 10% emisji tlenków azotu i cząstek stałych,
- zmniejszenie o 20–60% zużycia paliwa,
- zmniejszenie poziomu hałasu zewnętrznego i wewnętrznego (w kabinach sterowniczych),
- zmniejszenie poziomu drgań w kabinach sterowniczych,
- pełne wykorzystanie mocy silników elektrycznych oraz łatwiejsze ruszanie pociągów ciągniętych przez lokomotywę spalinową,
- odzysk 30–40% energii wykorzystywanej w procesie hamowania,
- dłuższe okresy pracy silników spalinowych między poszczególnymi przeglądami i naprawami, a tym samym zmniejszenie kosztów eksploatacji.

Pomimo tego faktu, że układy napędu hybrydowego, implementowane w celu poprawy właściwości ekologicznych spalinowych pojazdów kolejowych, są jeszcze w stosunkowo małym stadium rozwoju, kilka firm z sukcesem wdrożyło do użytkowania lokomotywy hybrydowe w wyniku modernizacji starszych wiekiem spalinowych lokomotyw liniowych i manewrowych.

Przykładowo, duże osiągnięcia we wprowadzaniu układów napędu hybrydowego w lokomotywach spalinowych ma firma Railpower Technologies Corp, która przekształcała kilkadziesiąt sztuk lokomotyw spalinowych w lokomotywy z układami napędu hybrydowego, przeznaczone do prac liniowych i manewrowych (rys. 2). Idea napędu hybrydowego tej firmy polega na tym, że zespół prądotwórczy złożony z silnika spalinowego i prądnicy synchronicznej wytwarza energię elektryczną, która następnie jest magazynowana w zasobnikach energii o dużej wydajności i określonej liczbie modułów (w zależności od zastosowania pojazdu). Energia wytwarzana i magazynowana przeznaczona jest do zasilania silników trakcyjnych przez przekształtnik. W zależności od zapotrzebowania mocy, silniki te mogą być zasilane z prądnicy głównej i/lub zestawu akumulatorów [2, 12].



Rys. 2. Lokomotywa hybrydowa GG20B firmy Railpower Technologies Corp [9]

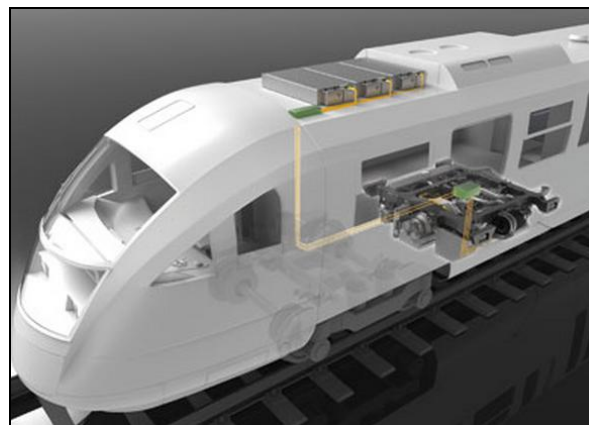
Również firma General Electric, w ramach strategii Ecomagination, zbudowała w roku 2007 lokomotywę towarową przetwarzającą energię uzyskaną podczas hamowania (rys. 3). Energia ta magazynowana jest w zasobnikach energii o dużej wydajności a następnie wykorzystywana na potrzeby własne jako źródło energii dodatkowej. Użytkowanie opisywanej lokomotywy o nazwie 2010 GE Evolution

Hybrid i masie około 207 000 kg pozwala na zmniejszenie emisji zanieczyszczeń w spalinach oraz zużycia paliwa. Możliwe jest zaoszczędzenie w ciągu roku takiej ilości energii, jaką zużywa 160 gospodarstw domowych [7].



Rys. 3. Spalinowa lokomotywa hybrydowa 2010 GE Evolution Hybrid firmy General Electric [8]

Systemy magazynowania energii dla napędów hybrydowych, w tym modułowe (rys. 4), oparte mogą być na akumulatorach litowo-jonowych. Te z nich użytkowane w pojazdach trakcyjnych muszą spełniać takie wymogi, jak odpowiednia: gęstość energii, bezpieczeństwo użytkowania, stabilność cykli pracy, jakość wykonania. Każdy moduł zawiera 12 ogniw litowo-jonowych i zapewnia ich połączenie cieplne i elektryczne. Zawiera on również układ pomiarowy do monitorowania stanu poszczególnych ogniw. Zastosowanie różnych połączeń ogniw (szeregowo, równoległe) pozwala uzyskać akumulatory energii o różnych wartościach mocy i gęstości energii. Przykładowo 15 połączonych szeregowo modułów daje całkowitą wartość energii wynoszącą około 92 kWh i moc szczytową 552 kW.



Rys. 4. Modułowy system magazynowania energii w trakcyjnych napędach hybrydowych [11]

2. NAPĘD HYBRYDOWY W POJAZDACH UŻYTKOWYCH

2.1. Pojazdy użytkowe lekkie

Z uwagi na charakter wykonywanych zadań przewozowych samochody przeznaczone do transportu dystrybucyjnego muszą często ruszać i zatrzymywać się. Jest to spowodowane w głównej mierze istnieniem sieci dość gęsto rozmieszczonych punktów odbioru towarów oraz poruszaniem się w warunkach miejskich (występowanie zjawiska kongestii drogowej w wyniku dużego natężenia ruchu pojazdów).

Przewóz osób czy też ładunków w warunkach wspomnianego ruchu miejskiego jest przewozem, w którym można w pełni wykorzystać zalety układów napędu hybrydowego. Z racji istnienia ww. procesów częstego ruszania i zatrzymywania pojazdów szczególnie

ważne jest zwiększenie sprawności układu napędowego w wyniku odzyskiwania energii podczas hamowania (określane jest to mianem tzw. hamowania rekuperacyjnego).

Udział w rynku motoryzacyjnym samochodów dostawczych i ciężarowych dystrybucyjnych (rys. 5–7) wyposażonych w układy napędu hybrydowego stale wzrasta. Już wielu przewoźników, będących w ścisłej współpracy z producentami tego rodzaju układów napędu, stosuje pojazdy o hybrydowym źródle zasilania. Wyniki badań eksploatacyjnych przez nich prowadzonych potwierdziły korzystność zastosowania w dystrybucji miejskiej i podmiejskiej samochodów z układem napędu hybrydowego.



Rys. 5. Technologia BlueHYBRID zastosowana w samochodzie Mercedes-Benz Sprinter [2]

Z punktu widzenia właścicieli podmiotów gospodarczych prowadzących działalność w branży transportowej, najbardziej istotne są korzyści ekonomiczne, a w drugiej kolejności ekologiczne. Zmniejszenie tzw. przebiegowego zużycia paliwa przez pojazdy dystrybucyjne – przy dużej flocie tego rodzaju pojazdów – powoduje znaczne zmniejszenie kosztów zakupu tego paliwa. Takie wymierne korzyści płynące z zastosowania w przewozie ładunków pojazdów z układem napędu hybrydowego, wpływają na ciągły wzrost zainteresowania tego typu pojazdami.



Rys. 6. DAF LF45 Hybrid wykorzystywany w transporcie dystrybucyjnym [5]



Rys. 7. Samochód MAN TGL 12.220 wyposażony w układ napędu hybrydowego [1]

2.2. Samochody ciężarowe

Volvo Trucks jako pierwsza firma w Europie postanowiła zastosować układ napędu hybrydowego w pojazdach ciężarowych. Na początku trafił on do pojazdów wykorzystywanych w transporcie komunalnym – śmieciarek (rys. 8). Samochody tego typu przez długi czas były testowane na ulicach miast w Szwecji by przekonać się o zaletach układu napędu hybrydowego w praktyce. Należy dodać, że układ napędu hybrydowego zaadaptowany w pojazdach ww. producenta umożliwia jazdę z wykorzystaniem tylko silników elektrycznych. Pozwala to zmniejszyć hałas emitowany przez te pojazdy, co jest szczególnie korzystne w centrach miast.



Rys. 8. Pierwszy samochód ciężarowy z układem napędu hybrydowego firmy Volvo [4]

Należy ogólnie stwierdzić, że firma Volvo Trucks w swoich pojazdach ciężkich preferuje zastosowanie układów napędów hybrydowych w konfiguracji równoległej. Podczas ruszania pojazdem wykorzystywany jest jedynie silnik elektryczny, mający duży moment obrotowy w początkowym zakresie prędkości obrotowej. Przy dużej prędkości jazdy uruchamiany jest natomiast silnik spalinowy i wówczas w układzie równoległym z silnikiem elektrycznym razem napędzają koła samochodu. W trakcie procesu hamowania maszyna elektryczna pracuje jako generator, ładując zasobniki energii elektrycznej w postaci akumulatorów.

Wyżej wspomniane rozwiązanie zastosowano między innymi w samochodzie Volvo FE. Układ napędowy zmniejsza emisję dwutlenku węgla o 30%, dzięki ograniczeniu pracy biegu jałowego silnika spalinowego o 50%. Układ ten wyposażono w silnik o zapłonie samoczynnym typu HDD (*Heavy Duty Diesel*), sprzęgło, skrzynię przekładniową oraz silnik elektryczny o magnesach trwałych, pełniący także funkcję generatora. Uściślając, w opisywanym układzie napędowym samochodu Volvo FE zastosowano 6-cylindrowy silnik spalinowy o objętości skokowej wynoszącej 7,2 dm³ i mocy użytecznej 221 kW lub 250 kW, uzyskujący odpowiednio 1160 N·m (przy 1200–1800 obr/min) lub 1300 N·m (przy 1200–1700 obr/min). Moduł silnika elektrycznego/generatora MDS (*Motor Drive System*) ma moc ciągłą 70 kW oraz 400 N·m. Pakiet akumulatorów litowo-jonowych ma napięcie rzędu 600 V, moc 120 kW oraz pojemność elektryczną wynoszącą 1,2 kWh. Skrzynia przekładniowa posiada 12 przełożeń z rozdziałem przeniesienia mocy i może współpracować z silnikami ZS o momencie obrotowym do 2400 N·m.

Inni producenci pojazdów ciężkich również prowadzili prace nad hybrydowymi samochodami ciężarowymi. Były to między innymi firmy: Renault (samochód Renault Premium Distribution Hybrys Tech), Mercedes-Benz (Econic BlueTec Hybrid) czy też MAN (MAN TGL i TGX; rys. 7 i 9). Po udanych próbach z prototypami, rozpoczęto produkcję seryjną niektórych z opracowanych rozwiązań.



Rys. 9. Samochód MAN TGX Hybrid przeznaczony do transportu dalekobieżnego [1]

2.3. Autobusy miejskie

Napęd hybrydowy znalazł także zastosowanie w publicznym transporcie osób. Stosowanie do przewozów aglomeracyjnych autobusów miejskich napędzanych silnikiem spalinowym wspieranym przez silnik elektryczny, pozwala uzyskać szereg korzyści w aspektach ekonomicznych i ekologicznych.

Firma Volvo wyposaża swoje autobusy miejskie głównie w równoległe układy napędu hybrydowego (rys. 10). Przykładem jest Volvo 7900 Hybrid (m.in. w wersji trzyosiowej, przegubowej o długości 18 m). Układ napędu równoległego powoduje zmniejszenie emisji CO₂ o 39%. Autobus wyposażono w 4-cylindrowy silnik o zapłonie samoczynnym o objętości skokowej 5,1 dm³, mocy użytkowej 177 kW (przy 2200 obr/min) i momencie obrotowym 918 N·m (w zakresie 1200–1600 obr/min). Jednostka napędowa posiada układ recyrkulacji spalin EGR (*Exhaust Gas Recirculation*). Pozasilnikowy układ oczyszczania spalin tworzą natomiast: system selektywnej redukcji katalitycznej SCR (*Selective Catalytic Reduction*) oraz filtr cząstek stałych DPF (*Diesel Particulate Filter*). Silnik elektryczny ma moc 150 kW i moment obrotowy 1200 N·m. Pełni on rolę retardera i układu odzyskującego energię kinetyczną pojazdu. W układzie napędu hybrydowego zastosowano akumulatory litowo-jonowe o wysokim napięciu. Układ gromadzenia energii ESS (*Energy Storage System*) o masie 220 kg ma moc 120 kW i dysponuje energią wynoszącą 1,2 kW·h.



Rys. 10. Przegubowy autobus miejski Volvo 7900 Hybrid [4]

Udział autobusów miejskich, wyposażonych w układy napędu hybrydowego, w rynku motoryzacyjnym dość szybko się powiększa. Swoje konstrukcje zaprezentowało już wielu producentów, w tym kilku w Europie. Poszczególni producenci starają się wprowadzić układy napędu hybrydowego we wszystkich najpopularniejszych obecnie odmianach autobusów: dwunasto-, piętnasto- i osiemnastometrowych (rys. 11 i 12).



Rys. 11. Dwunastometrowy autobus miejski Volvo 7900 Hybrid [4]



Rys. 12. Solaris Urbino 18 Hybrid o konfiguracji szeregowej układu napędowego [3]

PODSUMOWANIE

Prowadzone w ostatnich latach prace naukowo-badawcze w zakresie kolejowego i drogowego transportu masowego dotyczą w szczególności ograniczenia szkodliwego oddziaływania środków transportu na środowisko naturalne człowieka (emisja toksycznych zanieczyszczeń w spalinach). Biorąc pod uwagę wysokie ceny paliw wykorzystywanych jako źródło energii w spalinowych pojazdach trakcyjnych i drogowych pojazdach użytkowych, należy również zdecydowanie dążyć do zmniejszenia jego zużycia, a tym samym zwiększenia efektywności przewozów, i to zarówno w ruchu pasażerskim, jak i towarowym.

W zakresie sposobów umożliwiających poprawę efektywności w przewozach masowych osób i ładunków, realizowanych za pomocą pojazdów szynowych i drogowych, mieści się zakup nowoczesnego taboru. Nowe pojazdy trafiające z linii produkcyjnych do firm transportowych są w stanie zapewnić nie tylko duży poziom tej efektywności, lecz także bezpieczeństwa tych przewozów. Jest to związane przede wszystkim ze stosowaniem w środkach transportu masowego nowoczesnych i wydajnych układów napędowych, w tym hybrydowych, które były istotą przedmiotowego artykułu.

BIBLIOGRAFIA

1. Materiały firmy MAN: www.man-mn.com.
2. Materiały firmy Mercedes-Benz: www.mercedes-benz.com.
3. Materiały firmy Solaris: www.solarisbus.pl.
4. Materiały firmy Volvo: www.volvo.com.
5. Merkiś J., Andrzejewski M., Skorny G., *Przegląd nowoczesnych rozwiązań układów napędowych stosowanych w Europie w pojazdach HDV*. Journal of Modern Technologies in Transport „Bezpieczeństwo prowadzenia działalności w transporcie samochodowym”, No. 5, s. 37–48.
6. Merkiś J., Pielecha I., *Alternatywne napędy pojazdów*. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2006.
7. Stanisławski M., *210 000 części pracujących razem*. Design News Polska, 2007, nr 07/08.
8. <http://railworksamerica.com/> (dostęp z dnia 13.04.2015).
9. <http://www.up.com/> (dostęp z dnia 13.04.2015).
10. http://www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/pdfs/hvso_2006/22_salasoo.pdf
11. www.sensor-technik.de

AN APPLICATION OF HYBRID DRIVE SYSTEMS IN MASS TRANSPORT VEHICLES

Abstract

The article provides information on the current trends in the design of propulsion systems currently used in mass transport vehicles – rail vehicles with diesel traction and road commercial vehicles. The classification of hybrid systems that reduce harmful emissions into the atmosphere and fuel consumption by vehicles was presented. In addition, the article contains a description of the mass transport vehicles with the hybrid propulsion systems, including locomotives, delivery vans and trucks.

Autorzy:

dr inż. **Paweł Daszkiewicz** – Instytut Pojazdów Szynowych „TABOR” w Poznaniu, p.daszkiewicz@tabor.com.pl

dr inż. **Maciej Andrzejewski** – Instytut Pojazdów Szynowych „TABOR” w Poznaniu, m.andrzejewski@tabor.com.pl

dr hab. **Agnieszka Merkisz-Guranowska**, prof. PP – Politechnika Poznańska, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu, agnieszka.merkisz-guranowska@put.poznan.pl