

Paweł DASZKIEWICZ  
Maciej ANDRZEJEWSKI  
Agnieszka MERKISZ-GURANOWSKA  
Hanna STAWECKA  
Dawid GALLAS

PTNSS–2015–3431

## The existing solutions to reduce pollutants emissions of rail vehicles

*The compression ignition engines, due to their numerous advantages, continue to be the main source of rail vehicle propulsion. Harmful effects on the environment of these engines, however, is significant. There are many types of rail vehicles operated in Poland whose internal combustion engines often do not meet the requirements for exhaust emission toxicity. This article presents the currently used systems as well as technical solutions that would allow decreasing the negative environmental impact of rail vehicles.*

Key words: rail vehicle, pollutants emissions, impact on environment

### Stosowane rozwiązania zmniejszające emisję zanieczyszczeń przez pojazdy szynowe

*Silniki spalinowe o zapłonie samoczynnym pojazdów szynowych, ze względu na zalety jakimi dysponują, nadal pozostają głównym źródłem napędu tego typu pojazdów. Szkodliwe oddziaływanie na środowisko naturalne tych silników jest jednak znaczące. W Polsce jest eksploatowanych wiele rodzajów spalinowych pojazdów trakcyjnych, których silniki często nie spełniają wymagań w odniesieniu do toksyczności spalin. W artykule przedstawiono aktualnie stosowane systemy i układy pozwalające na zmniejszenie negatywnego oddziaływania spalinowych pojazdów trakcyjnych na otoczenie.*

Słowa kluczowe: pojazd szynowy, emisja zanieczyszczeń, oddziaływanie na środowisko

### 1. Wprowadzenie

Łokowe silniki spalinowe stosowane w pojazdach szynowych występują przede wszystkim w lokomotywach spalinowych, wagonach motorowych, spalinowych zespołach trakcyjnych (szynobusach) i w pojazdach pomocniczych. W najmniejszych pojazdach mogą być stosowane typowe silniki użytkowane w pojazdach ciężarowych, natomiast w dużych pojazdach szynowych – silniki o mocy rzędu nawet kilku tysięcy kilowatów i masie kilkudziesięciu tysięcy kilogramów.

W wyniku reakcji utleniania paliwa (spalania) w tych silnikach oprócz energii cieplnej powstaje również wiele substancji, także tych szkodliwych dla środowiska naturalnego. Najbardziej znaczącymi wśród nich są: tlenek i dwutlenek węgla, węglowodory, tlenki azotu oraz cząstki stałe. Stąd też spalinowe pojazdy trakcyjne eksploatowane w Europie, podobnie jak pojazdy drogowe, podlegają uregulowaniom prawnym w aspekcie czystości spalin, określanym przez Komisję Europejską. Dla nowych pojazdów obowiązują obecnie tzw. etap III B i IV (Stage III B i Stage IV), normujące maksymalną ilość zanieczyszczeń w spalinach.

Pomimo małego udziału spalinowych pojazdów trakcyjnych w całkowitej emisji szkodliwych składników spalin ze środków transportu, wyznaczane są kolejne cele pozwalające na ograniczenie

ich uciążliwości środowiskowej. W najbliższych latach wprowadzony ma zostać bowiem etap V, dopuszczający jeszcze mniejszą zawartość substancji toksycznych w spalinach. Ponadto do roku 2020 przewoźnicy europejscy powinni dokonać zmniejszenia zużycia energii i średniej emisji dwutlenku węgla o około 30% w porównaniu do roku 1990 (mierząc ją w odniesieniu do pasażero- lub tonokilometra). W kolejnym dziesięcioleciu emisja CO<sub>2</sub> powinna być ograniczona o 50% wobec roku 1990 [1].

Kluczowymi toksycznymi składnikami spalin, które podlegają ograniczeniom, są tlenki azotu oraz cząstki stałe o małych średnicach, tzw. PM<sub>10</sub> (średnica do 10 μm). Założonym celem do roku 2030 jest ograniczenie emisji jednostkowej tych składników o 40% (w stosunku do roku 2005), natomiast w roku 2050 planowane jest całkowite wyeliminowanie trakcji spalinowej i zastąpienie jej trakcją elektryczną, co ma doprowadzić do zerowej emisji tlenków azotu i cząstek stałych do atmosfery [1].

Specyfika dokonywanych zmian taboru spalinowego w warunkach polskich wymaga nie tylko określania zgodności poziomu emisji zanieczyszczeń z silników spalinowych z normami, ale jednocześnie oceny stopnia jej ograniczania. W poruszonych aspektach należy zaznaczyć, że stan techniczny krajowych, spalinowych pojazdów szynowych

wymusza konieczność ich ciągłego monitorowania. W toku eksploatacji tych pojazdów może bowiem dojść do zwiększenia emisji toksycznych zanieczyszczeń w spalinach, spowodowanego m.in. zużyciem, niewłaściwą regulacją lub uszkodzeniem jednostki napędowej pojazdu.

## 2. Montaż nowoczesnych silników

Część przewoźników kolejowych operujących na krajowych szlakach komunikacyjnych, w tym tzw. operatorów prywatnych, na przestrzeni ostatnich lat sprowadziła do Polski spalinowe pojazdy szynowe, których silniki nie spełniają wymagań w zakresie emisji składników toksycznych. Stąd zachodzi konieczność ich modernizacji technicznej w ww. aspekcie (rys. 1) oraz przystosowania w zakresie bezpieczeństwa ruchu po torach (tzw. polonizacja). Dotyczy to zwłaszcza takich pojazdów, jak lokomotywy i spalinowe zespoły trakcyjne [5].

W poruszanej tematyce należy powiedzieć, że zasadniczo modernizacja krajowego taboru spalinowego polega na zastępowaniu wyeksploatowanych tłokowych silników spalinowych jednostkami nowszymi (nie zawsze nowymi; rys. 2), naprawie głównej lub poddawaniu ich remontacji [4]. Naprawa lub wymiana silnika spalinowego wiąże się zarówno z korzyściami ekonomicznymi (mniejsze zużycie paliwa) oraz ekologicznymi.



Rys. 1. Silnik 2-5D49 lokomotywy BR232 z 1976 r. poddany naprawie głównej



Rys. 2. Nowoczesny silnik C175-16 firmy Caterpillar przeznaczony do zastosowań kolejowych [7]

Przykładowo zastosowanie nowej jednostki napędowej w lokomotywie spalinowej BR231 (silnik Caterpillar 3606 w miejsce starego i wysłużonego

silnika 5D49) spowodowało znaczącą poprawę wskaźników ekologicznych. Badania przeprowadzone według testu ISO 8178-F na oporniku wodnym wykazały zmniejszenie emitowanej masy tlenku węgla i węglowodorów o około 60% oraz masy tlenków azotu o 40% [5]. Należy przy tym zaznaczyć, że silnik CAT3606 ma o 10% mniejszą moc od silnika 5D49.

## 3. Hybrydyzacja układu napędowego

Dostępne obecnie na rynku transportowym układy napędu hybrydowego można podzielić głównie ze względu na 2 kryteria. Według kryterium udziału układów napędu elektrycznego w pojeździe wyróżnia się następujące typy: *micro hybrid*, *mild hybrid*, *full hybrid*. Kryterium konstrukcyjne układów napędu hybrydowego pozwala na ich podział na trzy grupy, mianowicie można wyróżnić układy: równoległy, szeregowy, mieszany [10].

W spalinowych pojazdach szynowych wprowadzenie układu napędu hybrydowego rozpoczęto dość późno. Przesłanką ku temu było między innymi zmniejszenie zużycia paliwa oraz negatywnego oddziaływania na środowisko naturalne. Najczęściej układy napędu hybrydowego są stosowane w lokomotywach spalinowych poddawanych procesom modernizacyjnym lub odnowy. W ostatnich latach rozpoczęto też jednak budowę nowych pojazdów, przeznaczonych głównie do prac manewrowych oraz prowadzenia lekkich pociągów osobowych i towarowych.

Duże doświadczenie we wdrażaniu hybrydowych układów napędowych do spalinowych pojazdów trakcyjnych ma amerykańska firma Railpower Technologies Corp, która zmodernizowała i przerebiła już kilkadziesiąt sztuk lokomotyw manewrowych i liniowych (w większości starego typu i wycofanych z eksploatacji). W przedmiotowych lokomotywach układ napędu hybrydowego tworzy zespół prądowórczy (silnik spalinowy wraz z prądnicą synchroniczną) oraz ładowane przez niego wysokowydajne zasobniki energii. Energia z tych zasobników, przez przekształtnik trakcyjny, zasila trakcyjne silniki elektryczne. W zależności od zapotrzebowania, energia do silników trakcyjnych może być dostarczana ze wspomnianych zasobników, prądnicy głównej lub z obu źródeł jednocześnie. Optymalnym wykorzystaniem tej energii steruje układ mikroprocesorowy [3].

Europejska firma Alstom również z sukcesem wdrożyła do eksploatacji lokomotywy hybrydowe, modernizując starsze wiekiem spalinowe lokomotywy manewrowe i liniowe. Przykładowo na bazie manewrowej lokomotywy serii BR 202 wykonała prototyp lokomotywy hybrydowej (BR 203H). W lokomotywie tej energię odzyskiwaną podczas hamowania magazynuje się w akumulatorach, które są ładowane także na postoju.

Układ napędowy przedmiotowej lokomotywy spalinowej tworzą silnik TCD 2013 L6 4V firmy Deutz o mocy 238 kW, prądnica synchroniczna PME firmy Hause Kirsch o mocy 200 kW, dwa silniki trakcyjne prądu przemiennego o mocy 213 kW oraz zestaw akumulatorów firmy Hoppecke (o masie około 5200 kg). Według danych producenta zastosowanie układu napędu hybrydowego umożliwia zmniejszenie zużycia paliwa i emisji dwutlenku węgla w trakcie pracy pociągowej o 40% oraz podczas pracy silnika na biegu jałowym o 75%. Ponadto układ napędu hybrydowego zapewnia zmniejszenie emisji tlenków azotu o 40% i cząstek stałych o 60%. Pomiędzy cyklami ładowania akumulatorów opisywana lokomotywa manewrowa może być eksploatowana w tunelach i halach, nie emitując przy tym żadnych toksycznych zanieczyszczeń w spalinach i pracując o 15 dB ciszej [2].



Rys. 3. Hybrydowa lokomotywa spalinowa BR 203H firmy Alstom [6]

Układy napędu hybrydowego, w zastosowaniu do lokomotyw spalinowych, są w Polsce rozwijane w bardzo małym stopniu. W obliczu wysokich cen oleju napędowego oraz wzrastających wymagań w zakresie dopuszczalnej emisji do atmosfery toksycznych składników spalin silnikowych, należy jednak sądzić, że zainteresowanie nimi będzie wzrastać.

Wśród wielu lokomotyw spalinowych użytkowanych w kraju, procesem hybrydyzacji należałoby objąć przede wszystkim lokomotywy manewrowe serii SM42 (zmodernizowane) oraz typu TEM2 (SM48) i 401Da. W związku z tym, że ich liczba jest duża, wprowadzenie układów napędu hybrydowego przyniosłoby znaczące efekty ekonomiczne i ekologiczne.

Szczegółowa analiza eksploatacyjna ww. lokomotyw wykazała między innymi ich małą obciążalność, zwłaszcza podczas realizacji prac manewrowych – udział pracy silnika na biegu jałowym wynosi wtedy nawet około 80%. Celowym byłoby więc wyposażenie tego rodzaju lokomotyw w wysokowydajne zasobniki energii. W konsekwencji dałoby to możliwość zastosowania nowoczesnych silników spalinowych o mniejszej: mocy, energochłonności i emisji toksycznych zanieczyszczeń w spalinach.

W przewidzianych do modernizacji krajowych lokomotywach manewrowych wszystkie nowe oraz modernizowane układy i zespoły, związane z napędem hybrydowym, powinny cechować się następującymi wymaganiami i wytycznymi [13]:

- układ biegowy – bez zasadniczych zmian, spełniający wymagania ujęte w normie PN-EN 14363:2007, karcie UIC 518 i raporcie nr 8 ORE (ERRI) B55 w zakresie bezpieczeństwa przed wykojeniem i oddziaływania na tor,
  - układ nadwozia – spełniający wymagania wytrzymałościowe, ujęte zasadniczo w normie PN-EN 12663-1:2010, oraz w zakresie kabiny – ujęte w TSI „Lokomotywy i wagony pasażerskie”,
  - silnik spalinowy – tzw. etap IIIB emisji zanieczyszczeń w spalinach,
  - zespół prądnic – synchroniczne na jednym wale,
  - silniki trakcyjne i napęd osiowy – zasadniczo bez zmian,
  - zasobniki energii – baterie litowo-żelowo-polimerowe lub niklowo-kadmowe; napięcie zbliżone do napięcia znamionowego silników trakcyjnych, pojemność na minimum 2 h pracy a trwałość 1000 cykli, gęstość energii – 40 kWh/kg, masa i gabaryty – dobór indywidualny do danego typu lokomotywy,
  - układ sterowania układu napędu hybrydowego i lokomotywy – mikroprocesorowy z pełną diagnostyką i możliwością rejestracji wszystkich parametrów pracy,
  - układ przekształtnika trakcyjnego – możliwość zasilania z prądnicy, zasobnika i obu źródeł jednocześnie, masa i gabaryty w zależności od typu i mocy lokomotywy,
  - układ ładowania i rozładowania zasobników – możliwość ładowania z prądnicy i obcego (zewnętrzny) źródła, czas ładowania poniżej 5 h, pełna kontrola rozładowania i pełna diagnostyka w zakresie parametrów prądowo-napięciowych, temperatury i przepływu energii, masa i gabaryty w zależności od wielkości zasobników.
- Oczywiście szczegółowe parametry poszczególnych zespołów i układów napędu hybrydowego będą zależęły od konkretnego typu (serii) lokomotywy przeznaczonej do ich zabudowy.

#### 4. Zastosowanie skutecznych układów oczyszczania spalin

W celu minimalizowania udziału substancji toksycznych w emitowanych przez silniki spalinach, należy ciągle, bo przepisy dotyczące emisji zanieczyszczeń są obecnie w szybkim tempie zmieniane i zaostrzane, pracować nad nowoczesnymi układami oczyszczania spalin [14]. Wymagane jest stosowanie coraz doskonalszych oraz efektywniejszych konstrukcji, które zapewnią maksymalne zmniejszenie ilości zanieczyszczeń emitowanych z gazami wylotowymi.

Obecnie ograniczenie emisji szkodliwych produktów niezupełnego i niecałkowitego spalania paliwa w silnikach spalinowych zasadniczo może być osiągnięte przez realizację dwóch typów przedsięwzięć. Przedsięwzięcia te można określić jako [12]:

- pierwotne (tzw. wewnątrzsilnikowe), które polegają na wprowadzeniu odpowiednich zmian konstrukcyjnych lub regulacyjnych w podzespołach i układach silnika, powodujących, że spaliny opuszczające cylindry zawierają mniej substancji szkodliwych (np. układ EGR),
- wtórne (tzw. pozasilnikowe), w ramach których, w układzie wylotowym silnika instaluje się specjalne systemy oczyszczania spalin (np. reaktory katalityczne typu TWC, DOC, SCR oraz filtry cząstek stałych DPF).



Rys. 4. Układ oczyszczania spalin przed montażem w lokomotywie [8]



Rys. 5. Zmodernizowana lokomotywa SD59MX wyposażona w zestaw 9 układów DOC + DPF [8]

Wprowadzane w zakresie układów oczyszczania spalin technologie są wykorzystywane nie tylko w nowo produkowanych jednostkach napędowych pojazdów, lecz także w pojazdach już użytkowanych. Chodzi o tzw. *retrofitting*, czyli montaż w układach wylotowych tych pojazdów nowoczesnych układów oczyszczania spalin (rys. 4 i 5), co skutkuje spełnieniem wyższej normy emisji zanieczyszczeń w spalinach przez pojazdy i szeregiem innych korzyści z tym związanych. Przedmiotowe

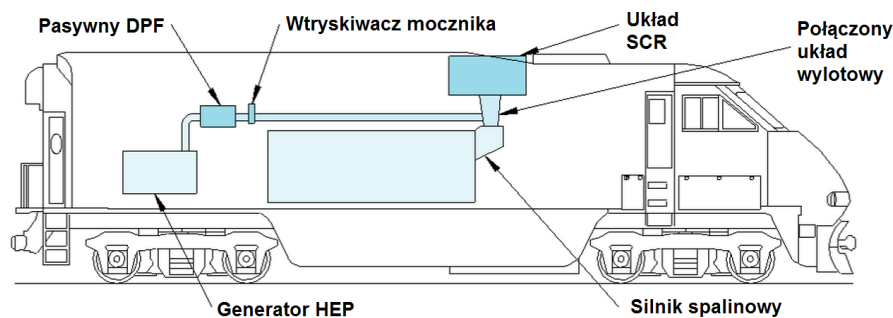
działania modernizacyjne są zasadne i opłacalne zarówno w przypadku pojazdów ciężkich o zastosowaniach drogowych (samochodów ciężarowych, autobusów, autokarów i in.), jak również w przypadku pojazdów szynowych trakcji spalinowej, które z wiadomych względów emitują jednostkowo więcej tlenu węgla, węglowodorów, tlenków azotu czy też cząstek stałych.

Przykładem działań w zakresie *retrofittingu* jest zastosowanie systemu BATS (*Blended Aftertreatment System*) przez amerykańską firmę Rail Propulsion Systems. Przedmiotowy skrót oznacza zintegrowany system oczyszczania spalin, emitowanych przez silniki spalinowe, przeznaczony do zastosowań kolejowych. Kluczowym zagadnieniem w realizacji koncepcji ww. firmy jest połączenie układu wylotu spalin, pochodzących z dodatkowego generatora (*Head-End Power Engine – HEP Engine*), który zasila pociąg pasażerski w energię elektryczną, z układem wydechowym głównego silnika lokomotywy w celu ułatwienia dostarczania i wymieszania odpowiedniej ilości wodnego roztworu mocznika – płynu AdBlue dla optymalizacji redukcji emisji  $\text{NO}_x$  z obu silników. System selektywnej redukcji katalitycznej (SCR) składa się m.in. ze zbiornika (rys. 6) i wtryskiwacza roztworu mocznikowego do kanału wylotowego wspomnianego generatora oraz z systemu sterowania, który monitoruje i dozjuje ilość dostarczanego mocznika w funkcji obciążenia spalinowych źródeł zasilania lokomotywy.

Wykorzystanie silnika głównego, spełniającego amerykańską normę emisji Tier 0, w połączeniu z generatorem HEP, spełniającym normę emisji Tier 3, oraz przy zastosowaniu zaproponowanego zintegrowanego układu oczyszczania spalin BATS, pozwala na osiągnięcie przez cały układ napędowy emisji jednostkowej  $\text{NO}_x$  na poziomie normy Tier 4 i emisji PM na poziomie normy Tier 3 [9]. W celu dalszego zmniejszenia wielkości emisji zanieczyszczeń przez lokomotywę, możliwa jest implementacja filtra cząstek stałych (DPF) na drodze wypływu spalin z generatora HEP (rys. 7).



Rys. 6. Zamontowany na lokomotywie zbiornik z płynem AdBlue [8]



Rys. 7. Lokomotywa spalinowa z zaimplementowanymi układami oczyszczania spalin redukującymi emisję  $\text{NO}_x$  i PM [9]

Również inne amerykańskie prace badawczo-rozwojowe pokazują jakich korzyści można się spodziewać po zastosowaniu zaawansowanych układów oczyszczania spalin w pojazdach szynowych [11]. Otóż pięć zmodernizowanych liniowych lokomotyw spalinowych Progress Rail typu PR30C o mocy 2240 kW, spełniających normę Tier 2, zostało wyposażonych w utleniający reaktor katalityczny DOC i technologię selektywnej redukcji katalitycznej, po czym poddanych badaniom w normalnych warunkach eksploatacji (sumarycznie ponad 27000 godzin pracy). Dla dwóch wybranych lokomotyw przeprowadzono następnie pomiary zmiany emisji zanieczyszczeń w postaci tlenku węgla, węglowodorów, tlenków azotu i cząstek stałych.

W przypadku toksycznych substancji gazowych w spalinach – CO, HC,  $\text{NO}_x$  – uzyskano redukcję emisji jednostkowej o odpowiednio około: 90, 90 i 80%. Natomiast w odniesieniu do emisji cząstek stałych uzyskano redukcję na poziomie 40–60% [11]. Oprogramowanie sterujące przedmiotowym systemem (w zamkniętym obwodzie) z powodzeniem kontrolowało zamierzone poziomy redukcji tlenków azotu przy minimalnym nadmiarze dostarczanego amoniaku – podczas jazdy na wybranych odcinkach testowych. Należy zaznaczyć, że wydajność opisywanego układu oczyszczania spalin w analizowanych lokomotywach nie wykazała żadnego pogorszenia po 3000 godzinach pracy.

## 5. Podsumowanie

Na przestrzeni ostatnich lat, w kwestii budowy i modernizacji pojazdów o zastosowaniach pozadrogowych (typu *non-road*), w tym szynowych, zaobserwować można – podobnie jak w odniesieniu do pojazdów drogowych – nasilone działania związane z ograniczaniem ich szkodliwego oddziaływania na środowisko naturalne oraz zmniejszeniem energochłonności ruchu w trakcie wykonywania założonych zadań trakcyjnych i przewozowych.

Jednym z rozwiązań, mających na celu wydłużenie przebiegów, zmniejszenie energochłonności ruchu pojazdów oraz emisji toksycznych zanieczyszczeń z układów wylotowych ich silników, jest pełna modernizacja użytkowanych dotychczas lokomotyw (manewrowych i liniowych). Mimo wysokich początkowych kosztów wprowadzania nowych systemów, poniesione nakłady finansowe szybko się zwrócą, a przeważającą korzyścią będzie wspomniane zmniejszenie emisji szkodliwych składników spalin do atmosfery oraz poprawa efektywności przewozów, zarówno w ruchu pasażerskim, jak i towarowym.

W zakresie zbioru środków umożliwiających zwiększenie efektywności w przewozach osób i ładunków, realizowanych za pomocą pojazdów szynowych, mieści się także nowoczesny tabor. Nowe pojazdy trafiające z linii produkcyjnych do firm transportowych są w stanie zapewnić nie tylko duży poziom tej efektywności, lecz również ekologii i bezpieczeństwa tych przewozów. Wiąże się to choćby ze stosowaniem w tego rodzaju środkach transportu masowego nowoczesnych i wydajnych układów oczyszczania spalin, które m.in. były istotą niniejszego artykułu.

Ponadto duże nadzieje w kwestii poprawy ekonomiki i ekologii użytkowania pojazdów szynowych wiąże się z szerokim upowszechnieniem pojazdów trakcyjnych z układem napędu hybrydowego. Najbardziej zaawansowane projekty wdrażania do eksploatacji tego typu układów napędowych dotyczą pojazdów trakcji elektrycznej. Natomiast w przypadku pojazdów trakcji spalinowej prace związane z wprowadzeniem do użytkowania układów napędu hybrydowego są póki co w mniejszym stadium realizacji i rozwijane głównie w krajach wysoko uprzemysłowionych. Postępujący na świecie rozwój prac nad układami napędu hybrydowego, przeznaczonymi do spalinowych pojazdów szynowych, powinien zatem skłaniać do realizacji podobnych działań także w Polsce.

## Nomenclature/Skróty i oznaczenia

BATS Blended Aftertreatment System/zintegrowany system oczyszczania spalin firmy Rail Propulsion Systems

DOC Diesel Oxidation Catalyst/utleniający reaktor katalityczny do silnika ZS

DPF	Diesel Particulate Filter/ <i>filtr cząstek stałych</i>	ORE	Office for Research and Experiments/ <i>Biuro ds. Badań i Eksperymentów</i>
EGR	Exhaust Gas Recirculation/ <i>układ recyrkulacji spalin</i>	SCR	Selective Catalytic Reduction/ <i>system selektywnej redukcji katalitycznej tlenków azotu</i>
ERRI	European Rail Research Institute/ <i>Europejski Instytut Badań Kolejowych</i>	TSI	<i>Techniczne Specyfikacje Interoperacyjności</i>
HEP	Head-End Power Engine/ <i>agregat prądowórczy</i>	TWC	Three Way Catalyst/ <i>trójfunkcyjny reaktor katalityczny</i>
ISO	International Organization for Standardization/ <i>Międzynarodowa Organizacja Normalizacyjna</i>	UIC	International Union of Railways/ <i>Międzynarodowy Związek Kolei</i>

## Bibliography/Literatura

- [1] Kettner J.: Moving Towards Sustainable Mobility a Strategy for 2030 and Beyond for the European Railway Sector. 12 UIC Sustainability Conference, Venice 2012.
- [2] Lehnert M., Klausner S.: Auslegung und Steuerung mobiler Traktionsenergiespeicher. Elektrische Bahnen, 2009, nr 9.
- [3] Marciniak Z.: Napędy hybrydowe pojazdów trakcji elektrycznej i spalinowej. Pojazdy Szynowe, 2011, nr 4.
- [4] Marciniak Z., Stawecki W., Merkisz J., Pielecha I., Pielecha J.: Możliwości modyfikacji taboru spalinowego w celu zmniejszenia jego oddziaływania na środowisko naturalne. Technika Transportu Szynowego, nr 3, 2011, s. 43-48.
- [5] Marciniak Z., Stawecki W., Pielecha I., Pielecha J.: Ekologiczne aspekty spalinowych pojazdów szynowych eksploatowanych na krajowych liniach kolejowych. Logistyka 4/2010.
- [6] Materiały firmy Alstom: [www.alstom.com](http://www.alstom.com).
- [7] Materiały firmy Caterpillar: [www.cat.com](http://www.cat.com).
- [8] Materiały firmy Progress Rail Services: [www.progressrail.com](http://www.progressrail.com).
- [9] Materiały firmy Rail Propulsion Systems: [www.railpropulsion.com](http://www.railpropulsion.com).
- [10] Merkisz J., Pielecha I., Alternatywne napędy pojazdów. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2006.
- [11] Park P.W., Downey M., Youngren D., Bruestle C.: Advanced Aftertreatment System Development for a Locomotive Application, ASME 2012 Internal Combustion Engine Division Fall Technical Conference ICEF2012, September 23-26, 2012, Vancouver, Canada.
- [12] Postrzednik S., Żmudka Z., Termodynamiczne oraz ekologiczne uwarunkowania eksploatacji tłokowych silników spalinowych. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2007.
- [13] Praca zbiorowa. Wytyczne i wymagania dla głównych zespołów i urządzeń napędów hybrydowych. Opracowanie OR-10127, IPS TABOR Poznań, 02.2012.
- [14] Rokosch U., Układy oczyszczania spalin i pokładowe systemy diagnostyczne samochodów. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2007.

Paweł Daszkiewicz, DEng. – senior assistant in the Rail Vehicles Institute “TABOR” in Poznan.

*Dr inż. Paweł Daszkiewicz* – starszy asystent w Instytucie Pojazdów Szynowych „TABOR” w Poznaniu.

e-mail: [p.daszkiewicz@tabor.com.pl](mailto:p.daszkiewicz@tabor.com.pl)



Agnieszka Merkisz-Guranowska, DSc. – Professor in the Faculty of Machines and Transport at Poznan University of Technology.

*Dr hab. Agnieszka Merkisz-Guranowska, prof. PP* – profesor na Wydziale Maszyn Roboczych i Transportu Politechniki Poznańskiej.

e-mail: [agnieszka.merkisz-guranowska@put.poznan.pl](mailto:agnieszka.merkisz-guranowska@put.poznan.pl)



Maciej Andrzejewski, DEng. – senior assistant in the Rail Vehicles Institute “TABOR” in Poznan.

*Dr inż. Maciej Andrzejewski* – starszy asystent w Instytucie Pojazdów Szynowych „TABOR” w Poznaniu.

e-mail: [m.andrzejewski@tabor.com.pl](mailto:m.andrzejewski@tabor.com.pl)



Hanna Stawecka, MEng. – junior specialist for research in the Rail Vehicles Institute “TABOR” in Poznan.

*Mgr inż. Hanna Stawecka* – młodszy specjalista ds. badań w Instytucie Pojazdów Szynowych „TABOR” w Poznaniu.

e-mail: [laboratorium@tabor.com.pl](mailto:laboratorium@tabor.com.pl)



Dawid Gallas, MSc. – trainee in the Rail Vehicles Institute “TABOR” in Poznan.

*Mgr Dawid Gallas* – stażysta w Instytucie Pojazdów Szynowych „TABOR” w Poznaniu.

e-mail: [d.gallas@tabor.com.pl](mailto:d.gallas@tabor.com.pl)

