

Dr hab.inż. Agnieszka Merkiś-Guranowska

Politechnika Poznańska,

dr inż. Maciej Andrzejewski

dr inż. Paweł Daszkiewicz

mgr Dawid Gallas

mgr inż. Hanna Stawecka

Instytut Pojazdów Szynowych „TABOR”

Wpływ modernizacji importowanych lokomotyw spalinowych na emisję zanieczyszczeń

The impact of the modernization of imported diesel locomotives on pollutant emissions

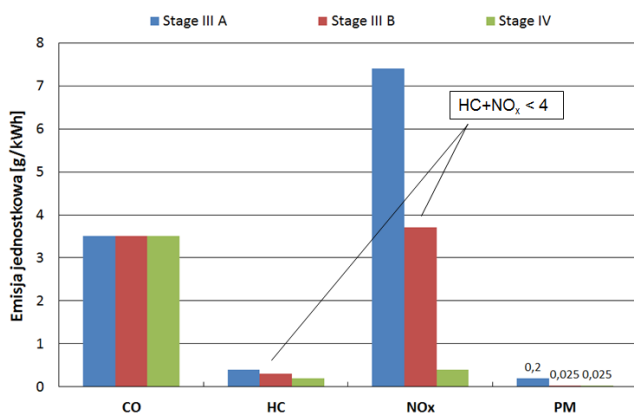
W artykule w głównej mierze przedstawiono efekty prowadzonych prac, w postaci wyników badań emisyjnych pojazdów, nad przystosowaniem sprowadzanych z zagranicy lokomotyw spalinowych starego typu do warunków ruchu na polskich liniach kolejowych (dopuszczenie do eksploatacji). W celu dokonania analizy właściwości ekologicznych pojazdów, przeprowadzono pomiary emisji spalin w warunkach stacjonarnego testu badawczego ISO 8178-F.

The article mainly presents the effects of works, in the form of vehicle emission test results, in the field of adaptation imported from abroad old type diesel locomotives to the driving conditions on the Polish railway lines (entry into exploitation). In order to analyze the ecological characteristics of this type of vehicle emission measurements were carried out under steady research ISO 8178-F test.

1. WPROWADZENIE

Operujący na krajowych szlakach komunikacyjnych przewoźnicy kolejowi, w tym tzw. operatorzy prywatni, na przestrzeni ostatnich lat sprowadzili do Polski spalinowe pojazdy szynowe [5], których silniki są przestarzałe i nie spełniają aktualnych wymagań w zakresie emisji składników toksycznych spalin (rys. 1). Stąd też zachodzi konieczność ich gruntownej modernizacji technicznej w wyżej wymienionych aspektach ekologicznych oraz przystosowania tych importowanych pojazdów w zakresie bezpieczeństwa ruchu po torach (tzw. polonizacja). Dotyczy to zwłaszcza takich pojazdów, jak lokomotywy i spalinowe zespoły trakcyjne [6].

W artykule w głównej mierze przedstawiono efekty prowadzonych prac, w postaci wyników badań emisyjnych jednostek napędowych pojazdów, nad przystosowaniem sprowadzanych z zagranicy lokomotyw spalinowych starego typu do warunków ruchu na polskich liniach kolejowych (dopuszczenie do eksploatacji). W celu dokonania analizy właściwości ekologicznych pojazdów, przeprowadzono pomiary emisji spalin w warunkach standaryzowanego stacjonarnego testu badawczego.



Rys. 1. Dopuszczalne wartości emisji toksycznych składników spalin silnikowych według unormowań europejskich [8]

Fig. 1. Emission limit values for toxic compounds from engine exhaust according to European norms [8]

2. OCENA TOKSYCZNOŚCI SPALIN

2.1. Metodyka badań

Analizę toksyczności spalin wykonano między innymi w odniesieniu do liniowej lokomotywy spalinowej serii BR232, sprowadzonej do Polski z Bułgarii, po wcześniejszym wycofaniu z eksploatacji na tamtejszych szlakach kolejowych (rys. 2). Przedmiotowa lokomotywa wyposażona była w silnik o mocy 2205 kW (oznaczenie 5D49), wyprodukowany w 1977 r.

Badania toksyczności spalin wykonano w warunkach stacjonarnego testu ISO 8178-F (rys. 3) na stanowisku wyposażonym m.in. w opornik wodny. Parametry emisyjne – stężenie poszczególnych składników toksycznych w spalinach – określano przy wykorzystaniu analizatora spalin Testo 360 (rys. 4). Wartości

1. INTRODUCTION

Rail carriers operating on domestic routes, including the so-called private carriers, in recent years brought to Poland imported diesel rail vehicles [5] whose engines are outdated and do not meet the current requirements in terms of rail vehicle toxic emissions (Fig. 1). Hence there is a need for their thorough technical modernization in the above-mentioned aspects of environmental impact [1] and adapt these imported vehicles in terms of traffic safety on tracks (usually referred to as polonization). This applies particularly to vehicles such as locomotives and diesel multiple units [6].

The article presents the results of its work mainly in the form of results of emission tests of vehicle powertrains on adaptation of imported diesel locomotives of the old type to traffic conditions on the Polish railway lines (being put into service). In order to analyze the ecological properties of vehicles, emission measurements were carried out under the conditions of a standardized stationary test.

2. ASSESSMENT OF TOXICITY OF EXHAUST GAS

2.1. Research methodology

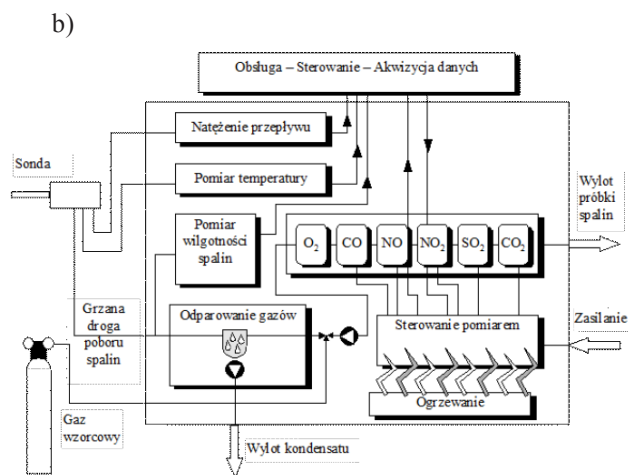
The analysis of the toxicity of exhaust gases is made with respect to, among others, the line locomotive series BR232, imported to Poland from Bulgaria, after having been withdrawn from service on the Bulgarian railway routes (Fig. 2). The tested locomotive was equipped with a 2205 kW engine (designation 5D49), produced in 1977.



Rys. 2. Obiekt badań podłączony do opornika wodnego
Fig. 2. The test subject connected up to a water resistor

Tests of the toxicity of exhaust gases was performed in the conditions of a stationary test ISO 8178-F (Fig. 3) on a station equipped with, among others, a water resistor. Emission parameters – concentration of individual toxic components in the exhaust – was determined using a Testo 360 gas analyzer (Fig. 4). The tested values of exhaust parameters were obtained after the sample gas was delivered to the measuring device (probe mounted in the exhaust system of the locomotive engine). Engine operating parameters, including its power, were determined from the driver's interface – control panel in the cabin.

oczekiwanych parametrów pozyskiwano po dostarczeniu próbki spalin do wspomnianego urządzenia (sonda zamontowana w układzie wylotowym silnika lokomotywy). Parametry pracy silnika, w tym jego moc, były natomiast określane z pozycji maszynisty – panel kontrolny w kabinie.



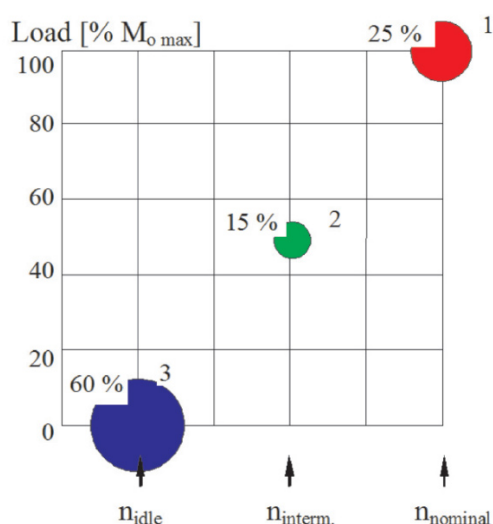
Rys. 4. Analizator spalin Testo 360 [9]: a) widok ogólny, b) schemat budowy

Fig. 4. The Testo 360 exhaust gas analyzer [9]: a) outside appearance, b) system schematic

2.2. Wyniki badań i ich analiza

Na podstawie zmierzonego stężenia związków toksycznych w gazach wylotowych w postaci tlenku węgla, węglowodorów i tlenków azotu, obliczono w dalszej kolejności ich emisję jednostkową. Zbiorcze zestawienie przedmiotowej emisji zaprezentowano na rysunku 5. Zawiera ono dla porównania wartości określone dla poszczególnych etapów prac, mających na celu przystosowanie importowanej lokomotywy BR232 do eksploatacji na polskich liniach kolejowych, czyli dla nieznacznej modernizacji silnika lokomotywy (m.in. wymiana wtryskiwaczy oleju napędowego) oraz jego naprawy głównej. Dla celów poglądowych na wykresie zamieszczono również wartości dopuszczalnej emisji jednostkowej toksycznych składników spalin w ujęciu normy ORE B13 (obowiązującej w trakcie homologacji silnika 5D49 lokomotywy) oraz obecnie najczęściej spełnianej przez nowoczesne jednostki napędowe lokomotyw spalinowych – Stage III A.

Z uwagi na znaczne wyeksploatowanie silnika wartości dla lokomotywy sprowadzonej z zagranicy w dużym stopniu przekraczają wartości normatywne, co



Rys. 3. Test ISO 8178-F (zaznaczono kolejność faz i udziały faz w teście) [6, 8]

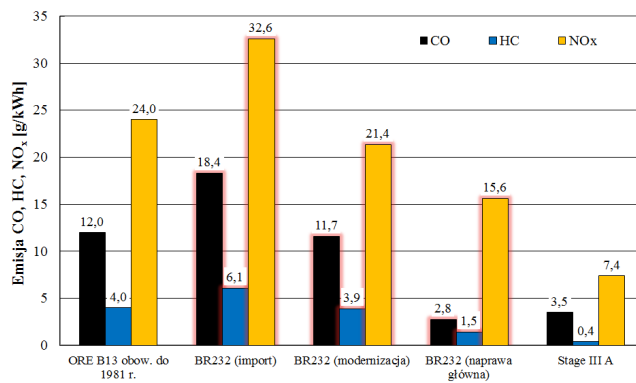
Fig. 3. ISO 8178-F test (the order of test phases and their share in the overall test have been shown) [6, 8]

2.2. Test results and their analysis

Using the measured concentration of toxic compounds such as carbon monoxide, hydrocarbons and nitrogen oxides in the exhaust gases their unit emission values were calculated. Collective summary of these emission values is presented in Figure 5. It includes the comparison of the values specified for the individual stages of work aimed at adapting imported BR232 engines to operate on Polish railway lines, so for basic modernization of diesel locomotives (including the replacement of diesel fuel injectors) and its major repair. To illustrate the changes done the chart also contains a emission limit values of toxic components in ORE B13 standards (in force at the time of approval of 5D49 engine locomotives) and the currently most common limit that modern engines of diesel locomotives adhere to – Stage III A.

Because the wear and age of the engine in the locomotive brought from abroad greatly exceed the standards for this class of vehicle, one would be able to organoleptically discern (by the opacity of exhaust gases) the changes in content of toxic compounds in exhaust gases. During the initial phases of the research problems appeared with getting the locomotive engine up to full power (due to unstable parameters of the injection equipment), which also manifested itself through very high emission levels (Fig. 6). The 5D49 engine overhaul led to a sufficient reduction in emission values which reached well below the legal norms of ORE B13. In the case of carbon monoxide, said overhaul even allowed the vehicle to reach emission values of significantly less than the values listed in the fairly restrictive standard of Stage III A.

można byłoby stwierdzić także organoleptycznie (przezroczystość spalin) podczas wykonywania pomiarów zawartości związków toksycznych w spalinach. Początkowo w trakcie badań natrafiono na problem z uzyskaniem pełnej mocy przez silnik lokomotywy (niestabilne parametry pracy aparatury wtryskowej), co objawiało się też bardzo dużą emisją zanieczyszczeń (rys. 6). Naprawa główna silnika 5D49 z kolei spowodowała spełnienie ze znacznym zapasem wartości usankcjonowanych w normie ORE B13. W przypadku tlenku węgla wspomniana naprawa pozwoliła nawet na uzyskanie wartości emisji jednostkowej dużo mniejszej niż ta zawarta w restrykcyjnej normie Stage III A.



Rys. 5. Emisja jednostkowa związków toksycznych z lokomotywy BR232 na tle unormowań emisyjnych

Fig. 5. Unit emission of harmful compounds from the BR232 locomotive compared to the emission norms

a)



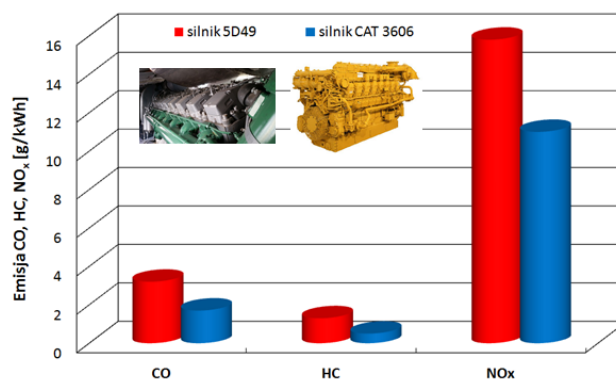
b)



Rys. 6. Emisja spalin z silnika lokomotywy: a) przed modernizacją (problemy z uzyskaniem pełnej mocy), b) po modernizacji

Fig. 6. Exhaust emissions from the engine: a) before modernization (trouble with reaching full engine power), b) after the modernization

Działania mające na celu przystosowanie importowanych lokomotyw do użytkowania na krajowych szlakach kolejowych polegają również na zastępowaniu wyeksploatowanych i przestarzałych silników jednostkami nowymi lub choćby nowszymi. Przykładowo zastosowanie silnika Caterpillar 3606 w miejsce 5D49 w liniowej lokomotywie spalinowej BR231 spowodowało znaczącą poprawę wskaźników ekologicznych (rys. 7). 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% [4]. Należy przy tym jednak zaznaczyć, że silnik CAT 3606 ma o 10% mniejszą moc od silnika 5D49.



Rys. 7. Emisja jednostkowa związków toksycznych z lokomotywy BR231 [4]

Fig. 7. Unit emission of toxic compounds from the BR231 locomotive [4]

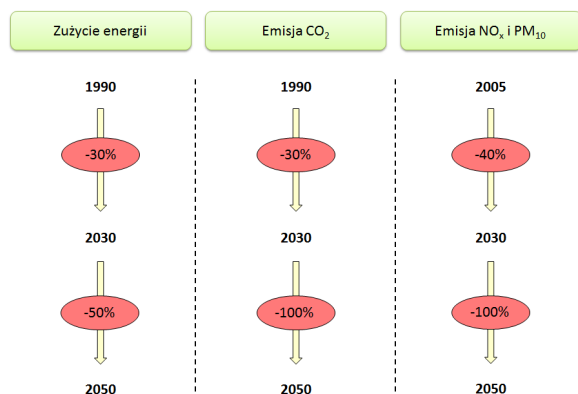
3. PODSUMOWANIE

Przystosowanie importowanego taboru spalinowego do użytkowania w Polsce (czy też modernizacja przestarzałego taboru krajowego) polega zasadniczo na zastępowaniu wyeksploatowanych tłokowych silników spalinowych jednostkami nowszymi (nie zawsze nowymi), naprawie głównej lub poddawaniu ich remontacji [3]. Naprawa lub wymiana silnika spalinowego

Measures to adapt imported locomotives for use on the national railway routes in Poland also consist of replacing worn-out and obsolete drive units with new engines or at least newer. For example, the use of Caterpillar 3606 engine in place of the 5D49 in the line locomotive BR231 resulted in a significant improvement of the vehicle's ecological indicators (Fig. 7).

wiąże się zarówno z korzyściami ekologicznymi, jak i ekonomicznymi (mniejsze zużycie paliwa) [7]. Ten pierwszy aspekt udało się potwierdzić w wyniku przeprowadzonych badań emisyjnych na oporniku wodnym. W dalszej kolejności przewidywane są również badania energochłonności ruchu w celu oszacowania wspomnianych korzyści ekonomicznych.

Przeprowadzane prace modernizacyjne odnośnie do eksploatowanych w Polsce lokomotyw spalinowych starego typu pozwolą przyczynić się do spełnienia, narzucanych przez różnego rodzaju organy i instytucje odpowiedzialne za ochronę klimatu ziemskiego, ograniczeń co do emisji zanieczyszczeń z pojazdów transportu masowego wykorzystywanych w kolejnictwie (rys. 8). Z uwagi na bardzo toksyczne oddziaływanie na organizmy żywe obecnie największą uwagę przykłada się do emisji cząstek stałych o bardzo małych średnicach (rzędu 10 μm) oraz emisji tlenków azotu z dużych silników o zapłonie samoczynnym – HDD (Heavy Duty Diesel). W obliczu wzrastającego efektu cieplarnianego istotna jest także emisja dwutlenku węgla do atmosfery. Stąd też w trakcie modernizacji starych pojazdów kolejowych, obok wyżej wspomnianych rozwiązań konstrukcyjnych i eksploatacyjnych, stosuje się także takie rozwiązania jak hybrydyzacja układów napędowych lokomotyw, przede wszystkim manewrowych (z uwagi na charakter ruchu).



Rys. 8. Propozycje ograniczeń dotyczących źródeł kolejowych w Europie [2]

Research conducted in accordance with the ISO 8178-F test on a water resistor showed a decrease in mass of emitted carbon monoxide and hydrocarbons by 60%, and the mass of nitrogen oxides by 40% [4]. It should be noted, however, that the CAT 3606 engine has about 10% less power than the 5D49 engine.

3. CONCLUSIONS

Adaptation of imported rolling stock for use in Poland (or modernization of the outdated domestic fleet) consists essentially of replacing worn out internal combustion engines with newer units (not necessarily new), drive system overhaul, or subjecting them to renovation [3]. Repair or replacement of the internal combustion engine is associated with both environmental and economic benefits (lower fuel consumption) [7]. It was possible to confirm the first aspect through emission testing with the use of a water resistor. Further on research on energy consumption is also expected to take place to find the values of these economic benefits.

Modernization works carried out in relation to locomotives of the old type operating in Poland will contribute to the fulfillment of the restrictions on emissions from railway vehicles used for mass transit (Fig. 8). Due to the highly toxic effects on living organisms most attention is currently being given to the particulate emissions of small diameter particles (in the order of 10 microns) and nitrogen oxide emissions from large compression ignition engines – HDD (Heavy Duty Diesel). In the face of increasing greenhouse effect emission of carbon dioxide into the atmosphere is also an important issue. Hence, in the process of modernization of old rail vehicles, in addition to the above-mentioned structural and operation solutions, additional solutions are also used, such as hybridization of powertrains locomotives, especially shunting locomotives (due to the nature of their operating conditions).

LITERATURA

- [1] Czerwiński J. et. al.: *Możliwości zmiany istotnych dla środowiska parametrów eksploatacyjnych spalinowych lokomotyw 6-osioowych przez modernizację zespołów*, *Pojazdy Szynowe* 4/2015
- [2] Kettner J.: *Moving Towards Sustainable Mobility a Strategy for 2030 and Beyond for the European Railway Sector*, 12 UIC Sustainability Conference, Venice 2012
- [3] Marciniak Z., Stawecki W., Merkiś 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
- [4] Marciniak Z., Stawecki W., Pielecha I., Pielecha J.: *Ekologiczne aspekty spalinowych pojazdów szynowych eksploatowanych na krajowych liniach kolejowych*, *Logistyka* 4/2010
- [5] Merkiś J., Stawecki W.: *Environmental aspects of rail vehicles with combustion engines*, *Pojazdy Szynowe* 3/2015
- [6] Stawecki W., Marciniak Z., Pielecha I., Pielecha J.: *Problems of exhaust gas emission of modernized diesel locomotives operating in Poland*, *Combustion Engines* 1/2014, pp. 48? 58
- [7] Szląg A., Maciołek T.: *Rozwiązania techniczne w układach zasilania poprawiające efektywność energetyczną transportu szynowego*, *Pojazdy Szynowe* 3/2015
- [8] www.delphi.com/manufacturers/auto/powertrain/emissions_standards (access of 20.02.2016)
www.testo.com.pl (access of 20.02.2016)