

Zygmunt Marciniak, Włodzimierz Stawecki
Instytut Pojazdów Szynowych „Tabor”

Ireneusz Pielecha, Jacek Pielecha
Politechnika Poznańska, Instytut Silników Spalinowych i Transportu

EKOLOGICZNE ASPEKTY SPALINOWYCH POJAZDÓW SZYNOWYCH EKSPLOATOWANYCH NA KRAJOWYCH LINIACH KOLEJOWYCH

Streszczenie: W referacie przedstawiono możliwości zastąpienia obecnie eksploatowanych lokomotyw spalinowych lokomotywami spalinowymi modernizowanymi lub innymi spalinowymi (np. zespołami spalinowymi) pojazdami szynowymi. Analizę tę przeprowadzono z uwzględnieniem: charakterystyk emisyjności lokomotyw pracujących w ruchu osobowym i towarowym, zestawienia ze sobą lokomotyw typowych z lokomotywami modernizowanymi, w których dokonano wymiany silnika, analizy zmian wskaźników ekologicznych lokomotywy pracującej w ruchu osobowym w porównaniu z trakcyjnymi pojazdami szynowymi, porównania emisyjności lokomotyw manewrowych i pojazdów specjalnych (maszyn do utrzymania i budowy torów oraz sieci trakcyjnej i pojazdów szynowo-drogowych).

Słowa kluczowe: lokomotywy, silnik spalinowy, emisja spalin.

1. WPROWADZENIE

Na przestrzeni ostatnich kilku lat zostaje sprowadzanych do kraju coraz większa liczba spalinowych pojazdów trakcyjnych (zwłaszcza lokomotyw i spalinowych zespołów trakcyjnych), których silniki spalinowe nie spełniają wymagań w zakresie emisji składników toksycznych [3, 4]. Spowodowane jest to przede wszystkim liberalizacją przewozów kolejowych w kraju i pojawieniem się około siedemdziesięciu przewoźników (tzw. operatorów prywatnych), nieskupionych w byłych i obecnych strukturach Polskich Kolei Państwowych S.A.

Ocena ekologiczności oparta jest w większości przypadków na porównaniu stanu bieżącego silnika spalinowego (jego emisyjności) z wartościami dopuszczalnymi emisji składników szkodliwych. Wartości te dotyczą konkretnych testów badawczych silników lub pojazdów [1, 2]. W krajowych warunkach eksploatacji pojazdów szynowych wymagania te nabierają nieco odmiennego kształtu, gdyż posiadanie szerokiego spektrum

taboru kolejowego znacząco zmienia obraz ekologiczności tych pojazdów. Konieczne staje się więc podjęcie prac dla oceny emisyjności silników spalinowych pojazdów trakcyjnych w warunkach ich rzeczywistej eksploatacji. Zatem wszystkie działania mające na celu ocenę rzeczywistego stopnia emisyjności spalinowych pojazdów szynowych oraz próby ich poprawy są konieczne i uzasadnione.

2. ZMNIEJSZENIE SZKODLIWEGO ODDZIAŁYWANIA POJAZDÓW SZYNOWYCH NA ŚRODOWISKO

2.1. Metodyka postępowania

Analizę możliwości zastąpienia obecnych lokomotyw spalinowych zmodernizowanymi lub innymi spalinowymi pojazdami szynowymi oparto o następujące założenia:

1. Emisję składników toksycznych spalin przedstawiono jako masę [g] przypadającą na jednostkę czasu pracy lokomotywy. W tym celu wyznaczono przepływ spalin G_{sp} [kg/h] dla danego punktu pracy silnika (pozycji nastawnika). Pozwala to na wyznaczenie emisji godzinowej danego składnika spalin E_i [g/h] w oparciu o pomiar stężenia C_i [ppm] tego składnika na podstawie:

$$E_i = a_i \cdot C_i \cdot G_{sp} \quad (1)$$

gdzie: a_i – współczynnik charakterystyczny dla danego związku szkodliwego.

2. Pracę lokomotywy odwzorowano na podstawie histogramów obciążeń. Wartości końcowe emisji [g] obliczono z uwzględnieniem współczynników udziału faz (wykorzystania silnika spalinowego).
3. Dla lokomotyw lub innych spalinowych pojazdów szynowych, dla których dokonano pomiarów zaczernienia spalin (w postaci pomiarów zaczernienia N lub współczynnika ekstynkcji k) wyznaczono masę cząstek stałych emitowanych z tych silników. Wartości masy cząstek stałych (PM) określono na podstawie zależności uzyskanej z pomiarów silnikowych, opisanej równaniem:

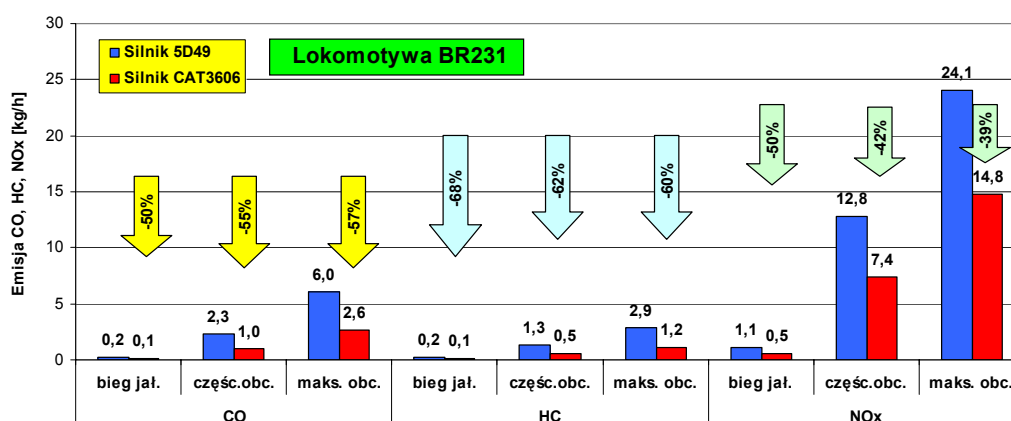
$$PM [mg/m^3] = 0,91 N [\%] \quad (2)$$

współczynnik korelacji $R^2 = 0,82$. Na podstawie wyznaczonego równania zamieniono pomiary zaczernienia spalin N na wartości emisji cząstek stałych (pomiarów bezpośrednich emisji cząstek stałych dokonano w przypadku badania pojazdu szynowo-drogowego).

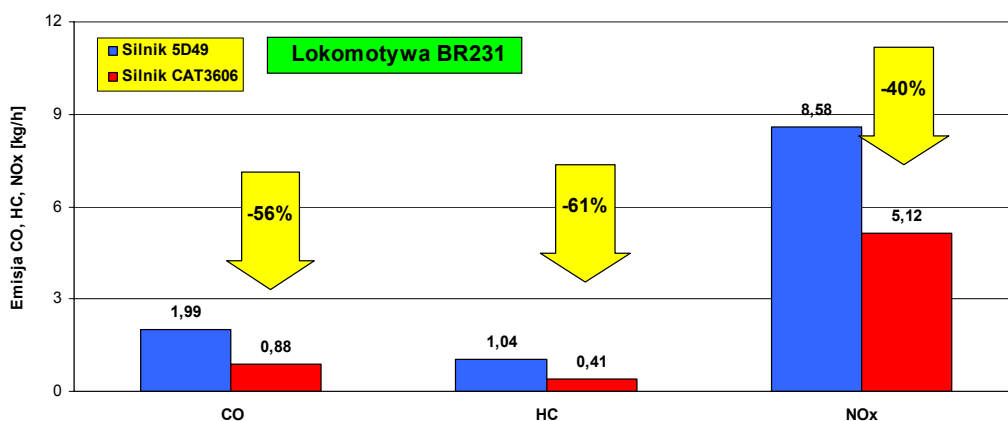
2.2. Modernizacja silników lokomotyw spalinowych

Ze względu na wyznaczenie emisji składników toksycznych większości badanych pojazdów w warunkach testu ISO 8178-F wskaźniki ekologiczne wyznaczono w fazach

tego testu. Wyniki przedstawiono jako wartości emisji godzinowej w badanych fazach dla każdej z lokomotyw w celu ukazania różnic w emitowanych masach składników szkodliwych. Emisja jednostkowa w teście nie jest tutaj miarodajnym wskaźnikiem emisyjności, gdyż jest wartością uwzględniającą różne współczynniki udziału faz bez uwzględniania specyfiki pracy danej lokomotywy. Rzeczywiste wartości emisji godzinowej podczas ruchu takich pojazdów można przedstawić biorąc pod uwagę ich faktyczne stany obciążenia (histogramy) lub w przypadku ich braku posługując się współczynnikami udziału faz pracy wynikającymi z testu ISO 8178-F. W drugim przypadku należy korzystać z wyznaczonych natężeń przepływu spalin w fazach testu a nie z końcowych wartości emisji jednostkowej.



Rys. 1. Wartości zmian emisji godzinowej przypadającej na 1 h pracy lokomotywy w danych warunkach obciążenia



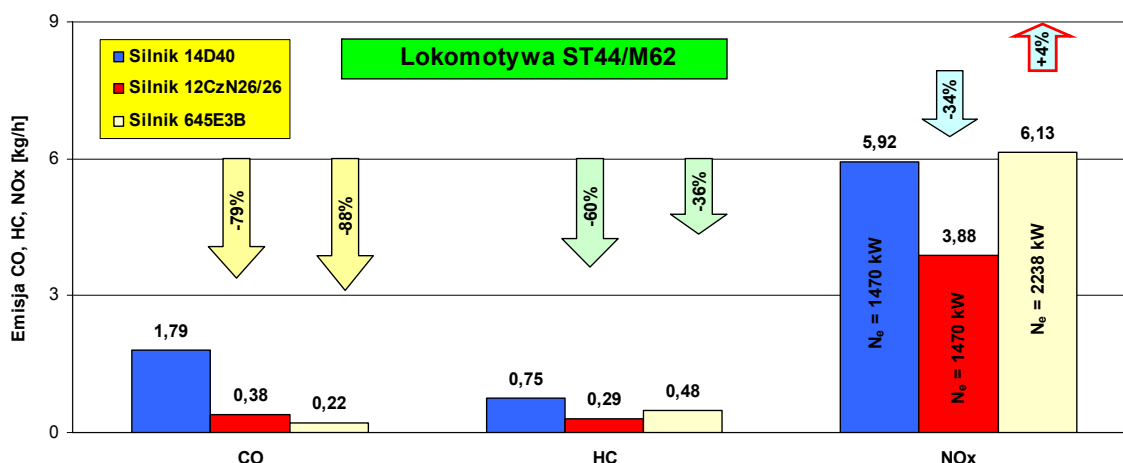
Rys. 2. Zmiany masy składników szkodliwych emitowanych z lokomotywy BR231 w wyniku modernizacji (zmiany) silnika przy założeniu udziałów pracy zgodnych ze współczynnikami testu ISO 8178-F

Na rys. 1 porównano wskaźniki ekologiczne zmodernizowanej lokomotywy BR231 wyposażonej w silnik firmy Caterpillar 3606, zastępujący starą i wysłużoną jednostkę 5D49 (silnik CAT3606 ma o 10% mniejszą moc od silnika 5D49), natomiast na rys. 2

emisję godzinową składników toksycznych lokomotywy BR231 wyznaczoną z uwzględnieniem współczynników udziału faz wynikających z testu ISO 8178-F.

W przypadku lokomotyw serii ST44 (M62) modernizacja była realizowana przez kilka zakładów. W pierwszym przypadku analizowanym przez Pesa Bydgoszcz SA silnik podstawowy 14D40 (dwusuwowy) zastąpiono silnikiem czterosuwowym 12CzN26/26 o tej samej pojemności skokowej i mocy ($V_{ss} = 150,6 \text{ dm}^3$, $N_e = 1470 \text{ kW}$), natomiast w drugim wykonanym przez firmę Rail Polska wykorzystano silnik 654E3B (lokomotywa oznaczona jako M62 o mocy $N_e = 2238 \text{ kW}$ i mniejszej pojemności skokowej $V_{ss} = 105,7 \text{ dm}^3$). Porównanie ekologicznych wskaźników pracy tych lokomotyw dokonano na rys. 3. Wartości masy składników toksycznych wyznaczono według współczynników udziału faz testu ISO 8178-F.

Znaczne ograniczenie emisji tlenku węgla wpływa pozytywnie na emisyjność modernizowanych lokomotyw spalinowych, a możliwości ograniczenia emisji węglowodorów wynoszą od 36 do 60%. Natomiast wzrost emisji tlenków azotu w przypadku lokomotywy wyposażonej w silnik 645E3B spowodowany jest wzrostem mocy tego silnika o 50% w stosunku do mocy lokomotywy bazowej (1470 kW).



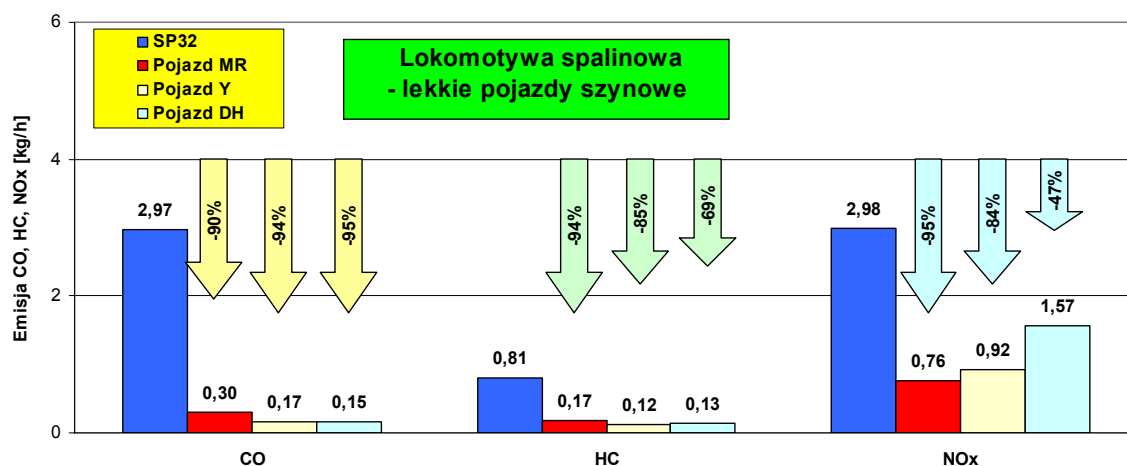
Rys. 3. Porównanie wskaźników ekologicznych silników 14D40, 12CzN26/26 oraz 654E3B modernizowanych lokomotyw ST44 (M62)

2.3. Zastępowanie lokomotyw spalinowych pracujących w ruchu osobowym spalinowymi zespołami trakcyjnymi

Lokomotywy spalinowe pracujące w ruchu osobowym mogą być zastępowane lekkimi pojazdami szynowymi tzw. spalinowymi zespołami trakcyjnymi Ze względu na coraz częstsze sprowadzanie z zagranicy tych pojazdów wykorzystywanych w przewozach, głównie w ruchu regionalnym, o znacznie nowszych konstrukcjach silników spalinowych, pozwala na stwierdzenie, że silniki te w znacznie mniejszym stopniu będą niekorzystnie oddziaływać na środowisko naturalne człowieka. Obecnie wykorzystuje się spalinowe pojazdy trakcyjne dwuczłonowe typu MR/MRD, dwu- i trójczłonowe typu Y oraz jedno- i dwuczłonowe typu DH-1/DH-2. Przedstawione emisje jednostkowe dla tych pojazdów [5] pozwalają przypuszczać, że emisja godzinowa (ze względu na znacznie mniejsze

pojemności skokowe zastosowanych tam silników niż w typowych lokomotywach spalinowych) zostanie również znacznie ograniczona.

Analizę korzyści z zastosowania lekkich pojazdów szynowych przedstawiono przy wykorzystaniu emisji składników toksycznych z lokomotywy SP32, która obsługuje ruch osobowy. Cechuje się ona względnie niską mocą oraz niewielką pojemnością skokową silnika typowej lokomotywy. Względnie niewielka pojemność skokowa pozwala na ograniczenie godzinowej emisji składników toksycznych, co pozytywnie wpływa na uzyskane wyniki analiz (rys. 4).



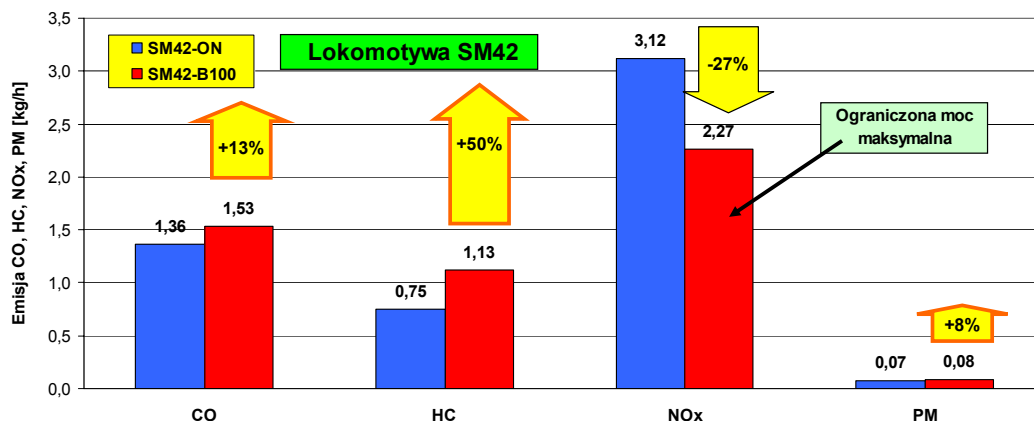
Rys. 4. Wskaźniki ekologiczne lekkich pojazdów szynowych na tle lokomotywy spalinowej pracującej w ruchu osobowym

Przedstawione porównanie wyników uzyskanych dla ciężkich lokomotyw spalinowych i lekkich spalinowych zespołów trakcyjnych wskazują znaczne różnice w emisji godzinowej składników szkodliwych. Oznacza to możliwość (a czasami konieczność) zastępowania wysłużonego taboru kolejowego pojazdami o nowocześniejszych konstrukcjach silników (często o znacznie mniejszej mocy i pojemności skokowej silników), co nie wpływa negatywnie na ich właściwości trakcyjne oraz możliwości realizacji określonych zadań przewozowych.

2.4. Zastępowanie spalinowych lokomotyw manewrowych pojazdami specjalnymi, w tym pojazdami szynowo-drogowymi, oraz stosowanie biopaliw

Niekorzystne oddziaływanie silników lokomotyw manewrowych na środowisko próbuje się zniwelować przez zastosowanie paliw alternatywnych. Wcześniejsze badania Autorów wykazały, że emisja składników toksycznych z silnika takiej lokomotywy jest wyższa niż silnika zasilanego olejem napędowym. Wartości emisji godzinowej przedstawiono na rys. 5.

Ze względu na brak zadowalających efektów obniżenia emisyjności silników lokomotyw manewrowych przez zastosowanie do ich zasilania biopaliwa B100, w dalszej analizie wykorzystano możliwość zastąpienia tych lokomotyw specjalnymi pojazdami szynowymi (ciągnikiem szynowo-drogowym).

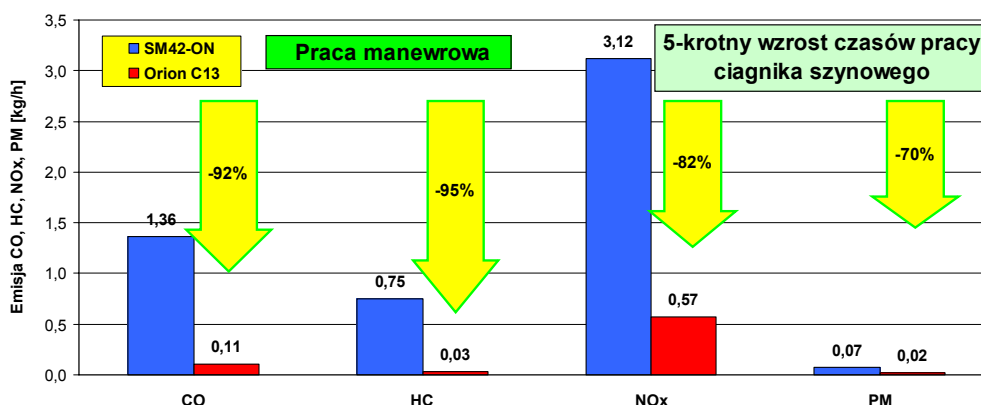


Rys. 5. Emisja godzinowa składników szkodliwych silnika SM42 zasilanego olejem napędowym i biopaliwem B100 – lokomotywa pracująca w ruchu manewrowym

Zalety specjalnych pojazdów szynowo-drogowych w porównaniu z lokomotywami manewrowymi to: 3-krotnie niższa cena zakupu ciągnika szynowo-drogowego w stosunku do ceny najtańszej lokomotywy manewrowej, 6-okrotnie niższe koszty eksploatacji ciągnika, 3-krotnie wyższe właściwości trakcyjne, możliwość prowadzenia pojazdów bez uprawnień kolejowych na bocznicach własnych, możliwość adaptacji używanych pojazdów drogowych na pojazdy szynowo-drogowe.

Do analizy wybrano ciągnik szynowo-drogowy Orion C13 produkowany przez spółkę Crystal Traktor z Sieradza i doposażony w układ szynowy w IPS „Tabor” w Poznaniu.

Wartości emisji składników szkodliwych wraz z emisją cząstek stałych ciągnika szynowo-drogowego zestawiono z lokomotywą manewrową SM42 (rys. 6). Symulację przeprowadzono przy założeniu, że ciągnik szynowo-drogowy ma pięciokrotnie zwiększone czasy przetoków wymuszone dopuszczalną liczbą ciągniętych wagonów, a więc pięciokrotny wzrost jego czasu pracy.



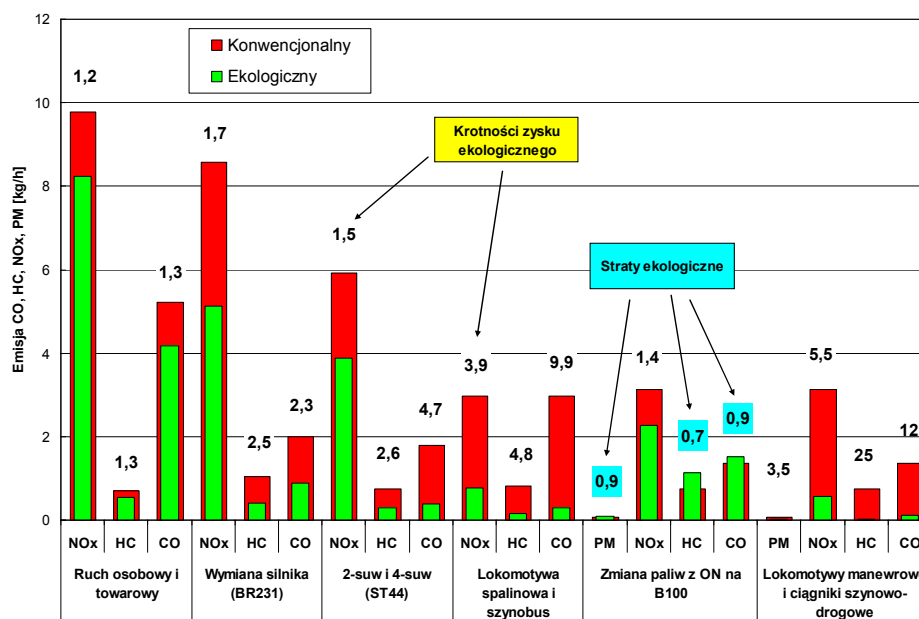
Rys. 6. Zestawienie emisyjności lokomotywy SM42 i ciągnika szynowo-drogowego w warunkach pracy manewrowej

Analiza pracy lokomotywy i ciągnika szynowo-drogowego wykazuje znaczne oszczędności w emisji wszystkich składników szkodliwych spalin do atmosfery. Minimalne zyski masy emitowanych składników szkodliwych to 70%. Oznacza to, że

pomimo wydłużenia czasu pracy ciągnika szynowego możliwe jest zaoszczędzenie podczas 2 godzin pracy lokomotyw SM42: ponad 2 kg CO, 1,5 kg węglowodorów oraz 5 kg tlenków azotu oraz 100 g cząstek stałych. Dla porównania emisja godzinowa cząstek stałych z pojazdu samochodowego (w teście jezdnym) wynosi około 2 g/h.

3. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Przedstawione możliwości zmian tradycyjnych pojazdów szynowych w postaci ich modernizacji, zastępowania silników spalinowych jednostkami nowocześniejszymi, stosowania paliw alternatywnych, wykorzystania szynobusów i pojazdów specjalnych (ciągników szynowo-drogowych) wymagają wskazania kierunków ekologicznie dominujących. W tym celu zestawiono i przedstawiono na rys.7 powyższe propozycje stosując jako wskaźnik krotność zmian w emisji składników szkodliwych. Z porównania wynika, że lokomotywy pracujące w ruchu towarowym mają około 20-30% mniejszą emisję składników szkodliwych, a więc można je znacznie później wycofywać z ruchu niż lokomotywy pracujące w ruchu osobowym. Oznacza to również konieczność wcześniejszej modernizacji spalinowego taboru kolejowego pracującego w ruchu osobowym.



Rys. 7. Podsumowanie zaproponowanych zmian ekologicznych w celu zmniejszenia niekorzystnego oddziaływania spalinowych pojazdów szynowych na środowisko

Przykładem będzie tutaj wymiana silnika w lokomotywie BR231 wskazująca na prawidłowy kierunek zmian ekologicznych. Uzyskuje się tutaj zmniejszenie emisji około 1,7 razy dla tlenków azotu oraz 2,5 razy w przypadku węglowodorów. Zastępowanie wysłużonych silników 2-suwowych nowoczesnymi silnikami czterosuwowymi pozwala również na zmniejszenie emisji około 1,5 razy w przypadku tlenków azotu do znacznych redukcji tlenku węgla – 4,7 razy.

Stosowanie paliw alternatywnych w postaci np. biopaliwa B100 nie jest jeszcze w warunkach krajowych dostatecznie opanowane. Brak jest w tym zakresie odpowiednich wytycznych do jego stosowania. Ze względu na nieco odmienne własności paliwa (szczególnie gęstość i lepkość) użytkowanie tego paliwa wymaga odpowiednich urządzeń do jego stosowania (odpowiednich układów podgrzewania, szczególnie w warunkach rozruchu i niskich temperatur otoczenia). Z zestawienia wynika, że zastosowanie tego paliwa nie przynosi zysku ekologicznego, a uzyskane obniżenie emisji tlenków azotu, wynika przede wszystkim z mniejszej mocy lokomotywy w warunkach obciążenia maksymalnego.

Bardzo korzystnie przedstawia się sytuacja dotycząca wykorzystania spalinowych zespołów trakcyjnych, takich jak np. szynobusów. Ich stosowanie pozwala obniżyć: prawie 4-krotnie emisję tlenków azotu, 5-krotnie węglowodorów, a tlenku węgla aż 10-krotnie.

Podobne korzystne wyniki ekologiczne uzyskano przy zastąpieniu lokomotyw manewrowych specjalnymi pojazdami szynowymi, takimi jak ciągniki szynowo-drogowe. Największe zyski ekologiczne dotyczą emisji węglowodorów – 25-krotne obniżenie na korzyść ciągnika szynowego, natomiast emisja tlenku węgla może zostać ograniczona nawet 12-krotnie. Na uwagę zasługuje również fakt ponad 3-krotnego obniżenia emisji cząstek stałych. Zmiany te uwzględniają wydłużony czas pracy ciągnika szynowo-drogowego w porównaniu z czasem pracy spalinowej lokomotywy manewrowej.

Bibliografia

1. Directive 2004/26/EC of the European Parliament and of the Council amending Directive 97/68/EC on the approximation of the laws of the Member States relating to measures against the emission of gaseous and particulate pollutants from internal combustion engines to be installed in non-road mobile machinery. 21.04.2004.
2. Norma PN-EN ISO 8178-4, Silniki spalinowe tłokowe. Pomiar emisji spalin. Cykle badawcze silników o różnym zastosowaniu. Wyd. styczeń 1999.
3. Marciniak Z., Pielecha I.: Próby i badania silników spalinowych lokomotyw i lekkich pojazdów szynowych w aspekcie poprawy ich parametrów eksploatacyjnych. XVIII Konferencja Naukowa „Pojazdy Szynowe”, Katowice-Ustroń, 17-19 września 2008.
4. Marciniak Z., Pielecha I.: Wpływ silników spalinowych pojazdów trakcyjnych eksploatowanych w kraju na środowisko – próby i badania oraz wytyczne dla redukcji emisji składników szkodliwych. Pojazdy Szynowe, 2009, nr 1.
5. Pielecha I., Pielecha J.: Tendencje w przepisach dotyczących emisji związków toksycznych przez silniki spalinowe pojazdów szynowych. Pojazdy Szynowe, 2005, nr 1.

ECOLOGICAL ASPECTS OF DIESEL RAIL VEHICLES EXPLOITED ON POLISH RAIL LINES

Abstract: The article presents possibilities to substitute currently exploited diesel locomotives by modernized other diesel units or rail vehicles. This analysis takes into account emission characteristics of locomotives working in passenger and freight service, comparative tables of typical locomotive compared with their modernized versions, with replacement of engines, analysis of changes of ecological coefficients of locomotives working in passenger operation compared with traction rail vehicles comparison of emissions of shunting locomotives and special vehicles (track and electric traction wiring constructions and maintenance engines, as well as rail-road vehicles).

Keywords: Locomotives, diesel engine, exhaust emission