

Możliwości poprawy parametrów ekologicznych silników dla naprawianych i modernizowanych lokomotyw spalinowych

Poziom emisji szkodliwych składników spalin pojazdów trakcyjnych, w tym lokomotyw eksploatowanych w kraju, jest bardzo wysoki i nie spełnia wymagań współczesnych norm emisji spalin. Przedstawiono współczesne europejskie i amerykańskie normy emisji środków toksycznych dla silników spalinowych pojazdów szynowych. Zaprezentowano również wyniki badań lokomotyw spalinowych przed naprawami i po naprawach, wykonanych w zakładach naprawczych. Omówiono wyniki badań i kierunki modernizacji silników lokomotyw w aspekcie ekologicznym.

1. Wstęp

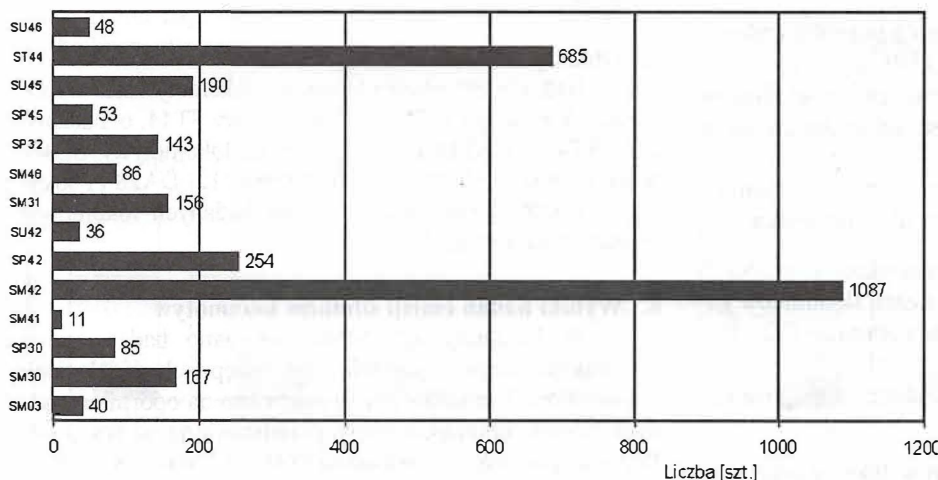
Wysokoprężne silniki spalinowe z wtryskiem bezpośrednim trakcyjnych pojazdów szynowych, ze względu na zalety jakimi dysponują, nadal pozostają głównym źródłem napędu pojazdów. Szkodliwe oddziaływanie na środowisko naturalne silników jest jednak znaczące. W kraju jest eksploatowanych wiele rodzajów spalinowych pojazdów trakcyjnych, których silniki nie spełniają wymagań i kryteriów toksyczności spalin.

W artykule zaprezentowano obecny stan techniczny związany z parametrami ekologicznymi silników spalinowych krajowej trakcji szynowej. Przedstawiono ekologiczny „obraz” silników spalinowych przed naprawami oraz po ich wykonaniu.

2. Eksploatacja lokomotyw w Polsce

Spalinowe pojazdy trakcyjne są eksploatowane przez poszczególne spółki PKP, (lokomotywy spalinowe liniowe i manewrowe autobusy szynowe, pojazdy pomocnicze, pojazdy szynowo-drogowe, wózki motorowe, żurawie itp.) oraz w dużych zakładach przemysłowych jak huty, stocznie, kopalnie, suche porty przeładunkowe. Realizują one oprócz prac liniowych również prace manewrowe oraz przetokowe.

Na rys. 1 przedstawiono zbiorcze zestawienie liczby tylko lokomotyw spalinowych, będących w eksploatacji w spółkach PKP według stanu na koniec czerwca 2003 r.



Rys. 1. Stan liczbowy lokomotyw eksploatowanych w spółkach PKP (stan na 06.2003 r.)

Zaprezentowane zestawienie nie obejmuje więc lokomotyw i wagonów motorowych eksploatowanych w zakładach przemysłowych i na liniach o innych prześwitach torów. Liczba tych pojazdów stale wzrasta i ma duży wpływ na środowisko naturalne, zwłaszcza w zakresie emisji składników toksycznych.

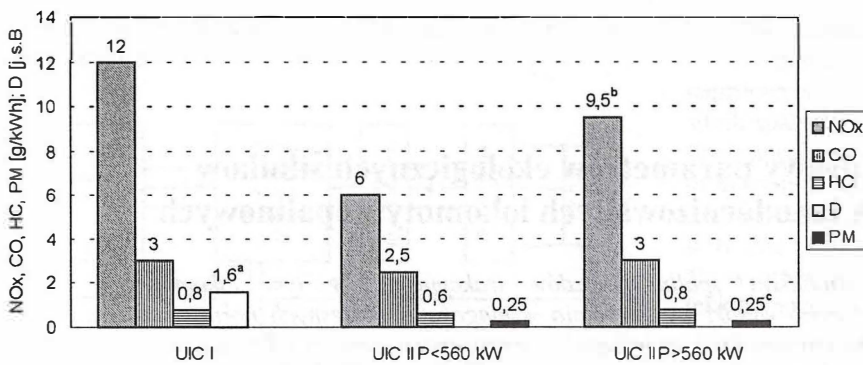
3. Europejskie i amerykańskie normy dotyczące emisji spalin dla pojazdów szynowych

Europejskie przepisy dotyczące emisji spalin silników trakcji szynowej: lokomotyw (w tym manewrowych) oraz autobusów szynowych zawarto w karcie UIC 624[8]. Dopuszczalne wartości emisji zostały ustalone w 2001 r. i mają zastosowanie do nowo produkowanych silników wysokoprężnych trakcji kolejowej. Przepisów nie stosuje się do lokomotyw specjalnych (eksploatowanych w rafinerii lub kopalni) i silników o mocy użytecznej poniżej 100 kW. Obowiązującym testem jest ISO 8178-F [6].

Dopuszczalne wartości emisji składników toksycznych podano na rys.2. Limity UIC I obowiązywały dla wszystkich silników do 31.12.2002r., natomiast od 1.01.2003 (UIC II) obowiązuje podział na silniki do 560 kW i powyżej tej wartości. Zmianie uległy mierzone składniki spalin. Zrezygnowano z pomiaru zadymienia spalin, uwzględniając obecnie w UIC II (tak jak w przypadku norm Euro) pomiar emisji cząstek stałych (PM – *Particulate Matter*).

Dalsze zmiany w zakresie dopuszczalnych limitów oraz innych wymagań to według [5]:

- ujednoczenie dopuszczalnych limitów z normą Euro III i Euro IV dla silników o mocy poniżej 560 kW,
- niższe limity emisji dla silników o zastosowaniu specjalnym,
- możliwość wykorzystania w silnikach ZS paliw o niskiej zawartości siarki, a opcjonalnie zastosowanie także paliw roślinnych.



Rys. 2. Limity emisji poszczególnych związków toksycznych dla pojazdów szynowych według karty UIC 624 [8]; a – przy wydatku powietrza powyżej 1,0 kg/s wartość zadyzienia wynosi 2,5 j.s.B.; b – obowiązuje dla prędkości $n > 1000$ obr/min, dla $n < 1000$ obr/min limit wynosi 9,9 g/(kW·h); c – dla silników o mocy nominalnej powyżej 2200 kW emisja PM jest wyjątkowo dopuszczona do 31.12.2004 r. na poziomie 0,5 g/(kW·h) lecz zaleca się zachowywać wartość graniczną 0,25 g/(kW·h); od 1.01.2005 r. wartość graniczna 0,25 g/(kW·h) obowiązuje dla wszystkich silników

W Stanach Zjednoczonych obowiązującymi przepisami dotyczącymi emisji składników toksycznych, które będą wprowadzone następującymi etapami są [5]:

- Tier 0 – mające zastosowanie do silników produkowanych od 1973 do 2002 r.,
- Tier 1 – mające zastosowanie do silników i lokomotyw produkowanych od 2003 do 2005 r.,
- Tier 2 – mające zastosowanie do silników, które będą produkowane po 1.01.2006r.

Dane techniczne silników badanych lokomotyw spalinowych

Tabela 1

Typ silnika	Moc [kW]	Prędkość obrotowa $N_{e, max}$ [obr/min]	Objętość skokowa silnika V_{ss} [dm ³]	Liczba/układ cylindrów	P_e [MPa]	c_{sr} [m/s]	Jednostkowe zużycie [g/(kW·h)]	
							paliwa g_e	oleju g_o
12LDA28	1544	750	265,8	12/2R	1,04	9,0	235	2,7
14D40	1470	750	150,6	12/V (45°)	0,81	7,5	228	2,7
2112SSF	1250	1500	95,6	12/V (90°)	1,07	11,5	223	2,7

p_e – średnie ciśnienie użyteczne, c_{sr} – średnia prędkość tłoka, R – rzędowy układ cylindrów silnika (2R – dwurzędowy), V – widlasty układ cylindrów silnika

4. Pomiary emisji spalin silników lokomotyw spalinowych eksploatowanych w Polsce

Badaniom poddano silniki spalinowe lokomotyw eksploatowanych lub przewidzianych do eksploatacji, w których dokonano napraw lub niezbędnych regulacji. Harmonogram pomiarów dla wszystkich badanych lokomotyw (przed naprawą i po naprawie) obejmował:

- dokonanie pomiarów toksyczności spalin lokomotyw przed naprawą,
- dokonanie pomiarów emisji spalin po naprawie lokomotyw,
- wykonanie obliczeń w celu określenia poziomu emisji w odniesieniu do przepisów ORE i UIC,
- przedstawienie możliwości obniżenia emisji składników toksycznych z silników obecnie zainstalowanych w lokomotywach,
- przedstawienie długoterminowych rozwiązań zmniejszających uciążliwość lokomotyw dla środowiska.

Do pomiaru i analizy emisji składników toksycznych wykorzystano analizator do pomiaru stężeń składników gazowych – Testo 360, którym dokonano pomiarów CO, HC i NO_x.

Badania przeprowadzono według następujących procedur:

- przygotowanie silnika do pomiarów toksyczności spalin: stabilizacja temperatury oleju silnikowego oraz cieczy chłodzącej,

- przygotowanie aparatury pomiarowej do badań: stabilizacja temperaturowa urządzenia, kalibracja cel pomiarowych oraz zamontowanie sondy pomiarowej do poboru próbek spalin,
- pomiar składników toksycznych spalin według określonego testu.

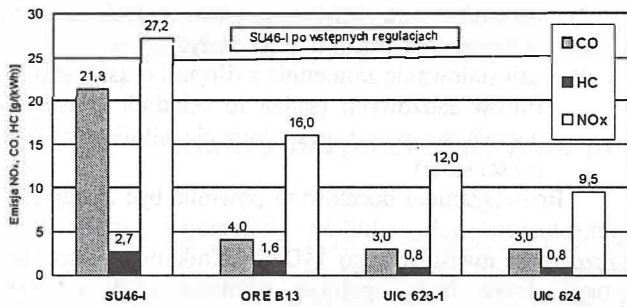
Pomiarów stężeń poszczególnych składników toksycznych dokonano według testu badawczego ISO 8178-F, w którym wykorzystuje się trzy prędkości obrotowe oraz maksymalne i częściowe obciążenia silnika zabudowanego w lokomotywie.

5. Obiekty badań

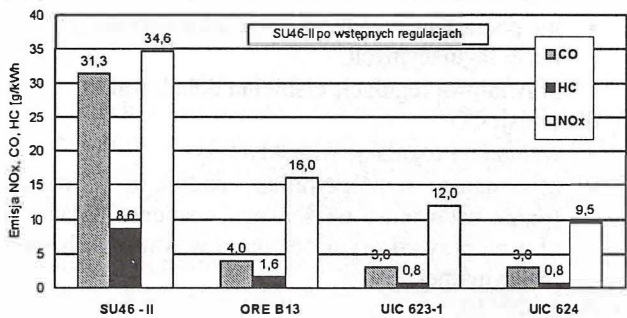
Badania przeprowadzono na lokomotywach wyposażonych w silniki 14D40 (2 lokomotywy ST44, oznaczone jako ST44-I i ST44-II), 2112SSF (2 lokomotywy SU46, oznaczone jako SU46-I i SU46-II) oraz 12LDA28 (1 lokomotywa ST43). Parametry silników badanych lokomotyw przedstawiono w tabeli 1.

6. Wyniki badań emisji silników lokomotyw

W lokomotywach SU46 dokonano badań emisji składników toksycznych tylko po wstępnych regulacjach ich silników. Pomiarów emisji dokonano na oporniku wodnym. Wyniki pomiarów emisji przedstawiono na rys. 3 i 4. Wartości porównano z normami ORE B13 oraz UIC 623-1 i UIC 624.



Rys. 3. Emisja silnika lokomotywy SU46-I po wstępnych regulacjach [1]

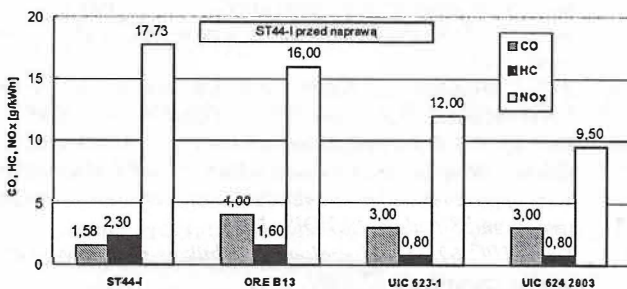


Rys. 4. Emisja spalin silnika lokomotywy SU46-II po wstępnych regulacjach [1]

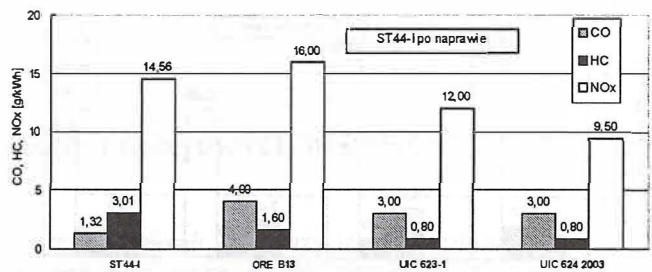
Dla obu lokomotyw zauważalne jest znaczne przekroczenie dopuszczalnych limitów emisji. Dla SU46-I znaczne wartości emisji CO wskazują na złe warunki spalania (niecałkowite spalanie), a wysokie wartości emisji NO_x mogą świadczyć o znacznym wyprzedzeniu kąta wtrysku paliwa w tym silniku, co generuje wysokie temperatury i może prowadzić do znacznych obciążeń cieplnych silnika.

W bardzo złym stanie technicznym znajdowała się lokomotywa SU46-II. Nawet po dokonanych regulacjach konieczne stało się przeprowadzenie naprawy głównej silnika spalinowego. Wyraźnie przekroczone zostały limity emisji (dwukrotnie tlenków azotu oraz wielokrotnie tlenku węgla i węglowodorów).

Następne badania przeprowadzono na silnikach spalinowych zabudowanych na lokomotywach ST44. Porównano dwie lokomotywy, na których przeprowadzono pomiary emisji przed naprawami (rys. 5) i po wykonanych naprawach głównych i regulacjach (rys. 6).



Rys. 5. Emisja spalin silnika lokomotywy ST44-I przed naprawą główną [2]



Rys. 6. Emisja spalin silnika lokomotywy ST44-I po naprawie głównej [2]

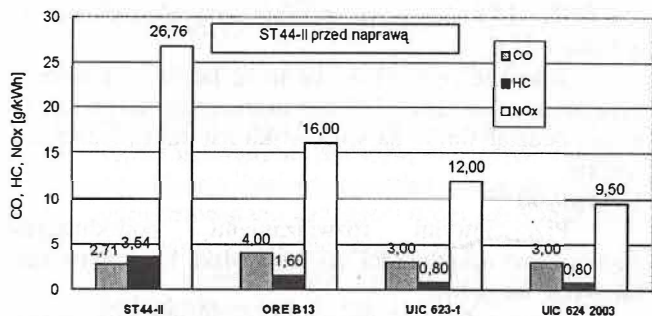
Otrzymane wartości pozwalają stwierdzić, że spełnione zostały z dużym zapasem wymagania normy ORE B13, a także norm UIC. Pozwoliło to na stwierdzenie prawidłowej regulacji ciśnienia doładowania.

Wzrost emisji HC mógł być spowodowany brakiem dotarcia silnika, jednakże wynik znacznie przekracza dopuszczalne limity. Poprawiono przebieg wtrysku (kąąt wyprzedzenia wtrysku), o czym świadczy niższa wartość emisji tlenków azotu, pozwalająca na spełnienie tylko normy ORE B13.

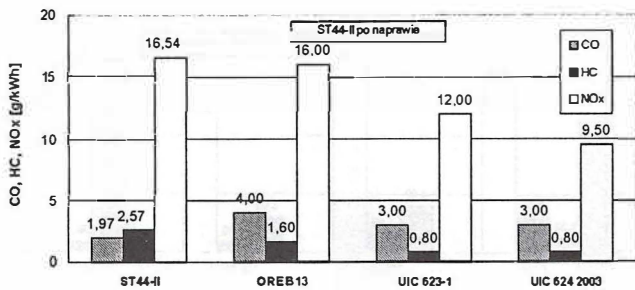
Wyjściowe parametry ekologiczne lokomotywy ST44-II znacznie odbiegały od poprzedniej (rys. 7). Poziom emisji tlenków azotu był o ponad 50% wyższy, wyższe były również emisje pozostałych składników toksycznych.

Po wykonaniu badań emisji składników toksycznych spalin w zakresie pomiarów tlenku węgla, węglowodorów i tlenków azotu stwierdzono (rys. 8):

- zmniejszenie emisji tlenku węgla (według testu badawczego ISO 81078-F) z 2,71 do 1,97 g/(kW·h) co pozwala na spełnienie wymagań normy UIC 624 [8],
- zmniejszenie emisji węglowodorów z 3,54 do 2,57 g/(kW·h), która jednak przewyższa dopuszczalne limity emisji (należy zauważyć, że limity emisji obowiązują przede wszystkim dla pojazdów nowych),
- znaczne zmniejszenie emisji tlenków azotu z 26,76 do 16,54 g/(kW·h), co pozwala (w zakresie błędów pomiarowego) przyjąć spełnienie normy ORE B13 (norma UIC jest znacznie bardziej rygorystyczna i wynosi odpowiednio: UIC 623-1 – 12 g/(kW·h), natomiast UIC 624 – 9,5 g/(kW·h)),
- pomimo przekroczenia emisji niektórych składników toksycznych, silnik spalinowy badanej lokomotywy należy uznać za prawidłowo wyregulowany i dotarty po naprawie głównej, o czym świadczy procentowe zmniejszenie poziomów emisji (CO o 73%, HC o 72% i NO_x o 62%).

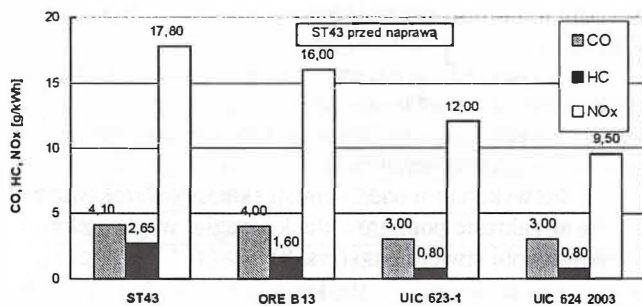


Rys. 7. Emisja spalin silnika lokomotywy ST44-II przed naprawą główną [3]

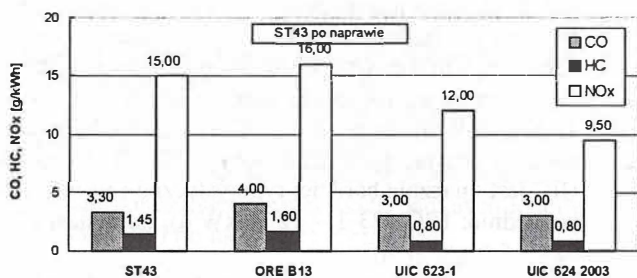


Rys. 8. Emisja spalin silnika lokomotywy ST44-II po naprawie głównej [3]

Ponadto wykonano pomiary emisji składników toksycznych dla silnika spalinowego zabudowanego na lokomotywie LDE2100 (ST43). Pomiary wykonano na silniku, który poddano naprawie głównej i niezbędnym regulacjom. Wyniki pomiarów przedstawiono, w porównaniu z obowiązującymi normami i przepisami, na rys. 9 i 10.



Rys.9. Emisja spalin silnika lokomotywy ST43 przed naprawą [4]



Rys.10. Emisja spalin silnika lokomotywy ST43 po naprawie

Po wykonanych pomiarach i analizie otrzymanych wyników stwierdzono, że mimo upływu wielu lat od wyprodukowania lokomotyw spełniają one wymagania przepisów ORE B13 i nieznacznie przekraczają zalecenia podane w kartach UIC.

Jednakże ze względu na to że liczba eksploatowanych lokomotyw serii ST43 jest nieznacznie uznać należy, że ich oddziaływanie na środowisko naturalne będzie niewielkie.

1. Wnioski

Przejęciowymi rozwiązaniami, powodującymi zmniejszenie uciążliwości dla środowiska lokomotyw spalinowych, mogą być:

- 1) zainstalowanie pozasilnikowych układów oczyszczania spalin w postaci utleniającego reaktora katalitycznego w celu zmniejszenia emisji tlenku węgla i węglowodorów,

- 2) zainstalowanie filtrów cząstek stałych w celu zmniejszenia emisji cząstek stałych,
- 3) zainstalowanie zamiennie z filtrami cząstek stałych filtrów sadzowych (sadza to składnik emisji zawierający również niespalony olej silnikowy i inne cząści stałe).

Rozwiązaniem docelowym powinno być zastąpienie wyeksploatowanych silników lokomotyw spalinowych (szczególnie dwusuwowego 14D40) silnikami nowszej generacji, które będą spełniać wymagania w zakresie poziomów emisji składników szkodliwych.

W celu osiągnięcia zmniejszenia emisji składników toksycznych dla starszej generacji silników sugeruje się:

- a) dla emisji NO_x:
 - niewielkie opóźnienie kąta początku wtrysku paliwa,
 - nie podnoszenie ciśnienia początku wtrysku powyżej norm regulacyjnych,
 - prawidłową regulację ciśnienia doładowania,
- b) dla emisji CO:
 - wymianę i regulację wtryskiwaczy,
 - utrzymanie współczynnika nadmiaru powietrza (przez ustawienie właściwego ciśnienia doładowania) na prawidłowym poziomie w warunkach mocy maksymalnej,
- c) dla emisji HC:
 - sprawdzenie i regulacje rozpylaczy wtryskiwaczy lub całych kompletów wtryskiwaczy,
 - konieczność sprawdzenia ciśnienia sprężania (indykowanie silnika) w celu ewentualnej wymiany zestawów tłok-pierścienie tłokowe,
- d) dla emisji cząstek stałych:
 - prawidłową regulację układu recyrkulacji spalin,
 - wyposażenie silnika w układy oczyszczania spalin.

Natomiast nowe lub modernizowane spalinowe pojazdy trakcyjne winny być wyposażone w nowoczesne silniki o zgodną z przepisami i normami emisją składników toksycznych spalin do atmosfery.

Literatura

- [1] Marciniak Z., Pielecha I. Sprawozdanie z badania emisji składników toksycznych spalin lokomotyw spalinowych SU46-032 i SU 46-003, SB-2229. Praca IPS „Tabor” Poznań, 2003.
- [2] Marciniak Z., Pielecha I. Sprawozdanie z badania emisji składników toksycznych spalin silnik lokomotywy spalinowej BR120-008, SB-2233, Praca IPS „Tabor” Poznań, 2003.
- [3] Marciniak Z., Pielecha I. Sprawozdanie z badania lokomotyw BR120 (ST44) w zakresie emisji składników toksycznych do atmosfery, SB-2237, Praca IPS „Tabor” Poznań, 2004.
- [4] Marciniak Z., Pielecha I. Sprawozdanie z badania emisji składników toksycznych spalin silnika lokomotywy spalinowej LDE 2100 (ST43), SB-2244. Praca IPS „Tabor” Poznań, 2004.
- [5] AVL Consulting and Information: Current and future exhaust emissions legislation, AVL List GmbH, Graz 2003.
- [6] ISO: 8178-1.2 Reciprocating internal combustion engines – Exhaust emission measurement – Part 1: Test-bed measurement of gaseous and particulate exhaust emissions. Draft International Standard ISO/DIS, 1995.
- [7] Karta UIC 623-1 – Homologacja silników spalinowych pojazdów szynowych, 07.1997.
- [8] Karta UIC 624-Abgasemissionsprüfung für Traktionsdieselmotoren, wyd. 2-3 kwiecień 2003.