

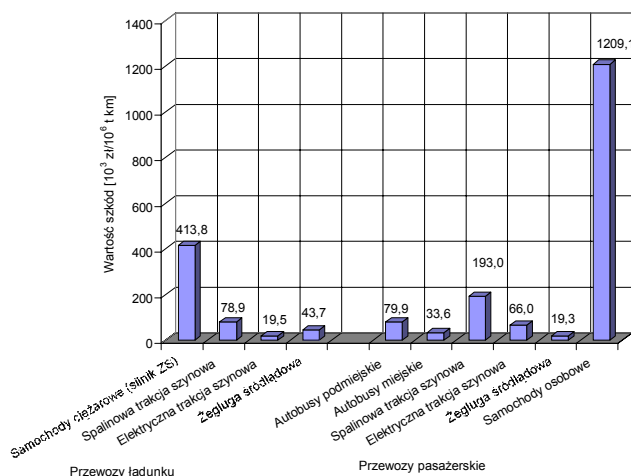
## Wpływ silników spalinowych pojazdów trakcyjnych eksploatowanych w kraju na środowisko – próby i badania oraz wytyczne dla redukcji emisji składników szkodliwych

Artykuł poświęcony jest zagadnieniom ekologicznej eksploatacji silników spalinowych lokomotyw, lekkich pojazdów szynowych oraz pojazdów specjalnych na krajowych liniach kolejowych. Przedstawiono przyczyny emisji składników szkodliwych oraz limity emisji spalin z pojazdów trakcyjnych według obowiązujących przepisów i dyrektyw. Ponadto zaprezentowano aparaturę wraz z metodykami badań i zasadami określania poziomów emisji najważniejszych składników toksycznych oraz przedstawiono wyniki badań prowadzonych na lokomotywach, lekkich i specjalnych pojazdach szynowych. W zakończeniu podano wskazówki dla spełnienia przez silniki spalinowe określonych wymagań w zakresie emisji składników toksycznych.

### 1. Wstęp

Na przestrzeni ostatnich kilku lat została wprowadzona do kraju coraz większa liczba spalinowych pojazdów trakcyjnych (w tym lokomotyw, lekkich i specjalnych pojazdów szynowych), których silniki spalinowe nie spełniają wymagań w zakresie limitów emisji składników toksycznych. Spowodowane jest to przede wszystkim liberalizacją rynku kolejowego w kraju i pojawieniem się ponad trzydziestu przewoźników (tzw. operatorów prywatnych) oraz prywatnych firm zajmujących się naprawami i modernizacjami pojazdów trakcyjnych z napędem spalinowym.

Udział pracy spalinowych pojazdów trakcyjnych w warunkach biegu jałowego wynosi 51,6% całkowitego czasu jej pracy, 33% czasu pracy odpowiada 10% znamionowej mocy użytecznej, a pozostałe udziały są znikome. Pojazdy spalinowe wypadają więc bardzo niekorzystnie w ocenie ekologicznej w odniesieniu do pojazdów elektrycznych (rys. 1).



Rys. 1. Porównanie wartości szkód wyrządzanych środowisku naturalnemu przez różne środki transportowe

Wartości szkód wyrządzonych środowisku naturalnemu w Polsce przez pojazdy spalinowe w czasie przewozu ładunków są 4-krotnie większe od szkód wyrządzonych przez pojazdy elektryczne, 1,8 razy większe niż dla żeglugi śródlądowej, jednak są 5-krotnie mniejsze od szkód spowodowanych przez samochody ciężarowe z silnikami o zapłonie samoczynnym. Wartość emisji związków szkodliwych zawartych w spalinach ze źródeł pozadrogowych, do których należą też spalinowe pojazdy szynowe, stanowi znaczący udział w odniesieniu do pojazdów drogowych.

Każdy z naprawianych lub remontowanych (związanych z wymianą silnika spalinowego) pojazdów trakcji szynowej, jeżeli nie posiada udokumentowanych wyników prób i badań silników, zostaje poddany badaniom, m.in. związanym z określeniem zawartości głównych składników toksycznych spalin. Wynika to z zakresu badań, koniecznych do uzyskania świadectwa dopuszczenia do eksploatacji typu pojazdów kolejowych, opublikowanego w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 12.10.2005 r., (Dz.U. Nr 212 poz. 1772).

Ponadto przewiduje się, że każdy spalinowy pojazd trakcyjny podczas naprawy rewizyjnej oraz głównej, będzie poddawany specjalistycznym badaniom silnika spalinowego pod względem emisji składników toksycznych spalin. Z tego względu w IPS „Tabor” Poznań przy udziale Instytutu Silników Spalinowych Politechniki Poznańskiej w ostatnich latach opracowano szczegółowe warunki techniczne dla odbioru spalinowych pojazdów szynowych, w tym autobusów szynowych oraz pojazdów pomocniczych i specjalnych, prowadzanych z zagranicy i wyposażonych w urządzenia i układy gwarantujące z jednej strony bezpieczeństwo ruchu na krajowej sieci kolejowej

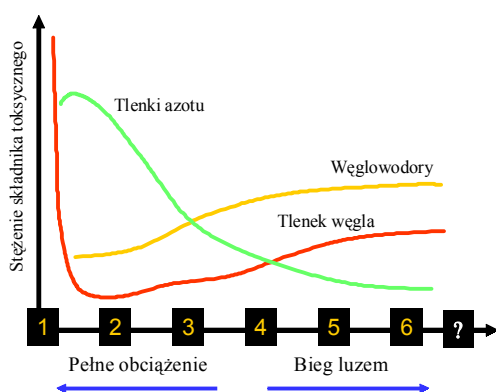
wej, a z drugiej możliwość minimalnego oddziaływania na środowisko naturalne człowieka.

## 2. Przyczyny powstawania składników szkodliwych spalin

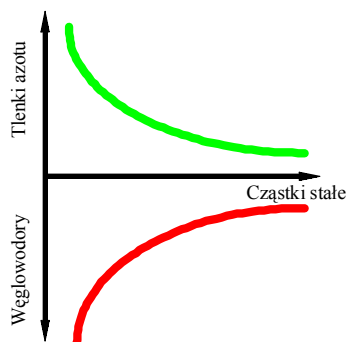
Źródłami substancji zanieczyszczających, emitowanych do atmosfery przez silniki spalinowe są przede wszystkim:

- układ wylotowy silnika,
- skrzynia korbowa,
- układ zasilania w paliwo.

Zasadniczymi gazowymi toksycznymi składnikami spalin są: tlenek węgla, niespalone węglowodory oraz tlenki azotu. Ponadto, powstającymi głównie w silnikach o zapłonie samoczynnym są również emitowane cząstki stałe (PM – *particulate matter*). Nie są to jednak jedyne składniki emitowane z pojazdu wyposażonego w silnik spalinowy (rys. 2). Emitowane są również pyły, hałas i powstający w wyniku reakcji chemicznych smog. Obecnie głównym problemem dotyczącym emisji jest ograniczenie tlenków azotu oraz cząstek stałych (rys. 3). Jednakże redukcja tych dwóch składników nie przebiega jednocześnie. Ograniczenie jednego z nich powoduje wzrost emisji drugiego.

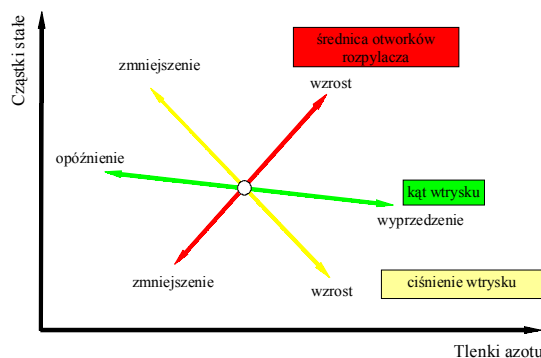


Rys. 2. Powstawanie składników w różnych stanach pracy silnika spalinowego o zapłonie samoczynnym ( $\lambda$  – współczynnik nadmiaru powietrza)



Rys. 3. Współzależności emisji głównych składników toksycznych spalin silników o zapłonie samoczynnym

Węglowodory aromatyczne powodują zwiększenie okresu opóźnienia zapłonu i są odpowiedzialne za spalanie stukowe w silniku. Z tego też względu nie są pożądanymi składnikami oleju napędowego. Również ze względu na ochronę środowiska ich obecność w paliwach jest wysoce niewskazana: podczas ich spalania (szczególnie węglowodorów wielopierścieniowych) tworzą się produkty o właściwościach kancerogennych (rakovórczych), które są wprowadzane do atmosfery wraz ze spalinami.



Rys. 4. Główne przyczyny zmian emisji cząstek stałych i tlenków azotu w silniku spalinowym o zapłonie samoczynnym

Zawartość siarki jest jednym z parametrów oleju napędowego, który w największym stopniu wpływa na poziom emisji cząstek stałych. Siarka z jednej strony intensyfikuje tworzenie cząstek stałych w procesie roboczym silnika, z drugiej obniża skuteczność układów oczyszczania spalin.

## 3. Przepisy regulujące próby i badania silników spalinowych pojazdów szynowych

W ostatnich latach w Europie zwraca się coraz większą uwagę na ochronę środowiska naturalnego człowieka. Dotyczy to nie tylko emisji substancji szkodliwych przez przemysł, w tym huty, elektrownie, zakłady ciepłownicze, ale również emisji składników toksycznych do atmosfery przez środki transportu, w tym transportu szynowego.

Obecnie w Europie obowiązują przepisy UIC [12, 18] oraz Dyrektywa 2004/26 [14] (nowelizacja dyrektywy 97/68) Komisji Europejskiej, regulujące wymagania dla silników spalinowych pojazdów trakcyjnych w zakresie dopuszczalnych składników toksycznych zawartych w spalinach emitowanych do atmosfery. Przepisy UIC nie mają jednak umocowania prawnego w świetle prawa międzynarodowego, a są tylko zobowiązaniami wszystkich kolei skupionych w Międzynarodowym Związku Kolejowym [11].

Obecnie, w związku z pojawieniem się na rynku europejskim (unijnym) wielu prywatnych firm realizujących prace przewozowe (zwłaszcza towarów), została wydana Dyrektywa 2004/26 mająca moc prawa unijnego, w której określono szczegółowo wymagania w zakresie dopuszczalnych wartości emisji

Parametry cykli badawczych pojazdów szynowych wykonywanych według testu PN-EN ISO 8178 [16, 17]

Tabela 1

Faza	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Mo [%]	100	75	50	25	10	100	75	50	25	10	0
Prędkość	Maksymalna prędkość					Średnia prędkość					Bieg jałowy
C1	0,15	0,15	0,15	-	0,10	0,10	0,10	0,10	-	-	0,15
F	0,25	-	-	-	-	-	-	0,15	-	-	0,60

gdzie: Mo – moment obrotowy silnika w %, C1 i F – cykle badawcze silników pojazdów szynowych

składników toksycznych spalin. Wymagania te dotyczą zarówno pojazdów drogowych jak i szynowych z różnymi rodzajami silników spalinowych i są bardzo ważne również w przypadku zastosowania silników samochodowych do spalinowych pojazdów trakcyjnych (np. w lekkich pojazdach, autobusach szynowych, pojazdach pomocniczych i specjalnych). Badania silników spalinowych pojazdów trakcyjnych prowadzone są najczęściej według testu PN-EN ISO 8178 cykl F oraz C1 (tabela 1).

Poniżej przedstawiono skrócone informacje o poszczególnych testach oraz dopuszczalne limity składników toksycznych ujętych w poszczególnych przepisach i normach:

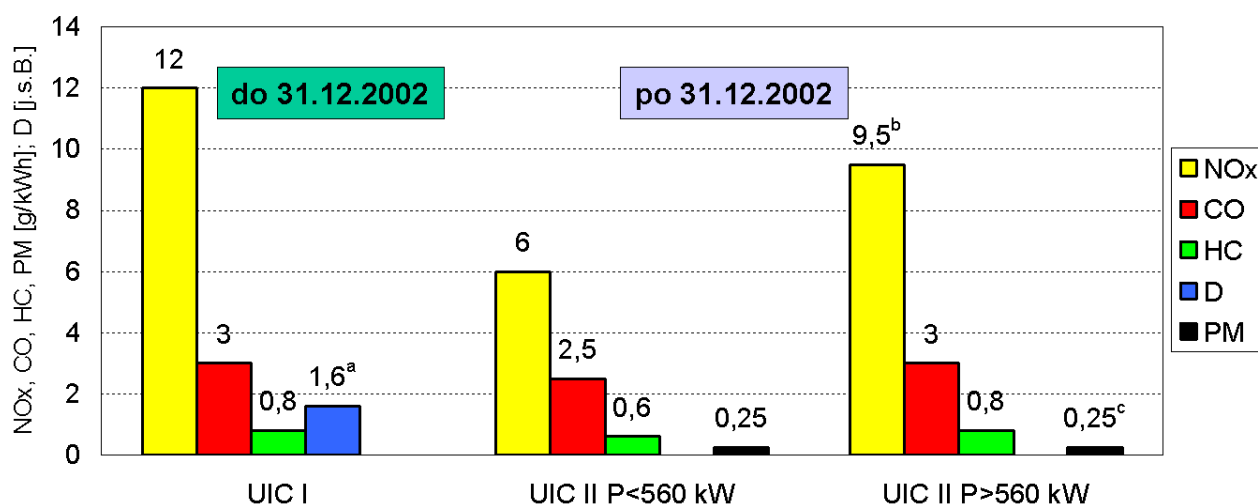
- test badawczy według PN-EN ISO 8178 cykl F [12] uwzględnia trzy punkty pomiarowe. Dopuszczalne limity emisji według obowiązujących kart UIC [18] przedstawiono na rysunku 5.

- test badawczy według PN-EN ISO 8178, cykl C1 dla silników zabudowywanych przede wszystkim w lekkich pojazdach szynowych, np. w autobusach szynowych i pojazdach specjalnych.

Dopuszczalne limity emisji dla poszczególnych etapów wprowadzania według Dyrektywy Komisji Europejskiej przedstawiono w tabeli 2 [13, 14].

Ponadto dla pojazdów szynowych, w których zostaną zastosowane silniki samochodowe z zapłonem samoczynnym, zalecane są badania według następujących testów [13, 14]:

- ESC – stacjonarny test europejski (tab. 3)
- ELR – obciążeniowy test europejski
- ETC – europejski test niestacjonarny.



Rys. 5. Limity emisji spalin wg kart UIC 623-2 i UIC 624; a – przy wydatku powietrza powyżej 1,0 kg/s wartość zadymienia D 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 była 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 [4]

Limity emisji spalin wg Dyrektywy 2004/26 (nowelizacja dyrektywy 97/68) Komisji Europejskiej Tabela 2

Data wprowadzenia (obowiązujący)		Emisja [g/kW·h]	Typ pojazdu trakcyjnego i jego moc w kW	CO	HC	HC+NOx	NOx	PM	Test
IIIA	RC A 01.07.05/01.01.06 <sup>*)</sup>		Wagon motorowy P > 130	3,5	–	4	–	0,2	C1
	RL A 01.01.06/01.01.06 <sup>*)</sup>		Lokomotywa 130 < P < 560	3,5	–	4	–	0,2	F
	RH A 01.01.08/01.01.09 <sup>*)</sup>		Lokomotywa P > 560	3,5	0,5	–	6	0,2	F
	RH A 01.01.08/01.01.09 <sup>*)</sup>		Lokomotywa P > 2000 i V <sub>c</sub> > 5 dm <sup>3</sup>	3,5	0,4	–	7,4	0,2	F
IIIB	RC B 01.01.11/01.01.12 <sup>*)</sup>		Wagon motorowy P > 130	3,5	0,19	–	2	0,025	C1
	R B 01.01.11/01.01.12 <sup>*)</sup>		Lokomotywa P > 130	3,5	–	4	–	0,025	C1

<sup>\*)</sup> Data dla procedur dopuszczenia / Data dla eksploatacji

RC – pojazdy szynowe  
A – UIC III A  
R – zastosowania szynowe  
RH – lokomotywy dużej mocy  
RL – lokomotywy małej mocy  
B – UIC III B

Limity emisji spalin wg Dyrektyw 1999/96/EC i 2001/27/EC Parlamentu Europejskiego dla spalinowych silników samochodowych z zapłonem samoczynnym Tabela 3



Data wprowadzenia (obowiązujący)		Emisja [g/kW·h]	Rodzaj testu	CO	HC	NO <sub>x</sub>	PM	Zadymienie [k <sup>-1</sup> ]
Euro I	01.01.1992		ECE R49	4,5	1,1	8	0,612	-
Euro II	01.10.1996		ECE R49	4	1,1	7	0,25	-
	01.10.1998			4	1,1	7	0,15	-
Euro III	01.01.1999		ESC i ELR	1,5	0,25	2	0,02	0,15
	01.10.2000			2,1	0,66	5	0,10	0,8
Euro IV	01.10.2005			1,5	0,46	3,5	0,02	0,5
Euro V	01.10.2008			1,5	0,46	2	0,02	0,5

#### 4. Zestawienie badanych pojazdów trakcyjnych i ich charakterystyka

Badania przeprowadzono w większości na lokomotywach i lekkich pojazdach szynowych (autobusy szynowe, pojazdy pomocnicze i pojazdy specjalne) sprowadzonych z zagranicy i poddanych naprawom

głównym lub remontacyjnym w zakładach naprawczych i zakładach produkujących tabor kolejowy. Zestawienie spalinowych pojazdów szynowych przedstawiono w tabeli 4, natomiast pełne parametry badanych silników spalinowych podano w tabeli 5.

Pojazdy szynowe poddane badaniom emisji składników toksycznych spalin Tabela 4

Nr	Opis	Typ silnika	Moc silnika	Widok pojazdu
1	Lokomotywa manewrowa 6D (SM42)	a8C22	588 kW	
2	Lokomotywa ST44 doposażona przez ZNTK Poznań	14D40	1470 kW	

3	Lokomotywa ST44 zmodernizowana przez Pesa Bydgoszcz	12CzN26/26	1470 kW	
4	Lokomotywa M62M zmodernizowana przez Rail Polska	645E3B	2238 kW	
5	Lokomotywa manewrowa liniowa TEM2 zmodernizowana przez Pesa Bydgoszcz	PD1M	883 kW	
6	Lokomotywa M62 oznaczona jako 120.003	14D40	1470 kW	
7	Dwuczłonowy zespół trakcyjny typu MR/MRD sprowadzony z Danii przez firmę Arriva	F12L413F	2x239 kW	
8	Trójczłonowy zespół trakcyjny typu Y sprowadzony z Danii przez firmę Arriva	OM407h i OM447h	2x177 kW	
9	Profilarka MPR RM 2325G Plaster Theurer SSP100	Deutz F8L413 KHD	280 kW	
10	Podbijarka MRN RM 2015X RLA 302h	Deutz BF8M1015C	370 kW	

11	Maszyna do poziomowania toru MST RM 2008N	Deutz BF12L513C	348 kW	
12	Czyszczarka MRJ RM 2307D	Deutz BF12L513C	333 kW	
13	Maszyna do zgrzewania szyn MSL RM 2040P	Deutz BF12L513C	348 kW	

## 5. Wyniki pomiarów emisji składników toksycznych silników lokomotyw spalinowych

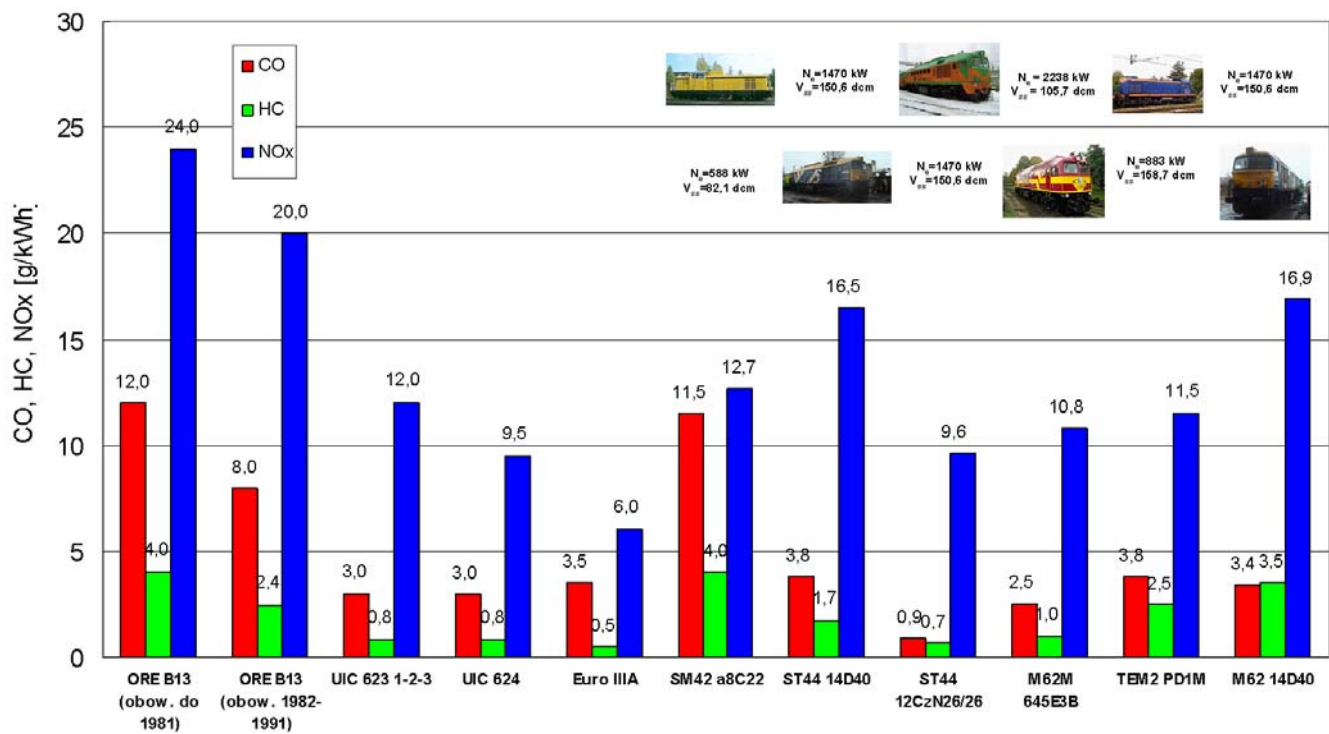
Pomiary emisji składników toksycznych spalin prowadzono w latach 2006–2008. W przypadkach uzyskiwania wyników odbiegających wyraźnie od limitów (wartości dopuszczalnych) pomiary, po wymianie zużytych elementów (np. wtryskiwaczy) oraz przeprowadzeniu dodatkowych regulacji w układzie paliwowym, były powtarzane.

Poniżej podano uzyskane wyniki z badań silników poszczególnych pojazdów prowadzonych według PN-EN ISO 8178-1 dla cyklu F wraz z odniesieniami do obowiązujących przepisów i norm [10, 12, 15-19]: badania lokomotyw spalinowych – rys. 6, badania lekkich pojazdów szynowych – rys. 7 oraz badania specjalnych pojazdów szynowych – rys. 8. Pełne zestawienie wyników zaprezentowano w tabeli 6.

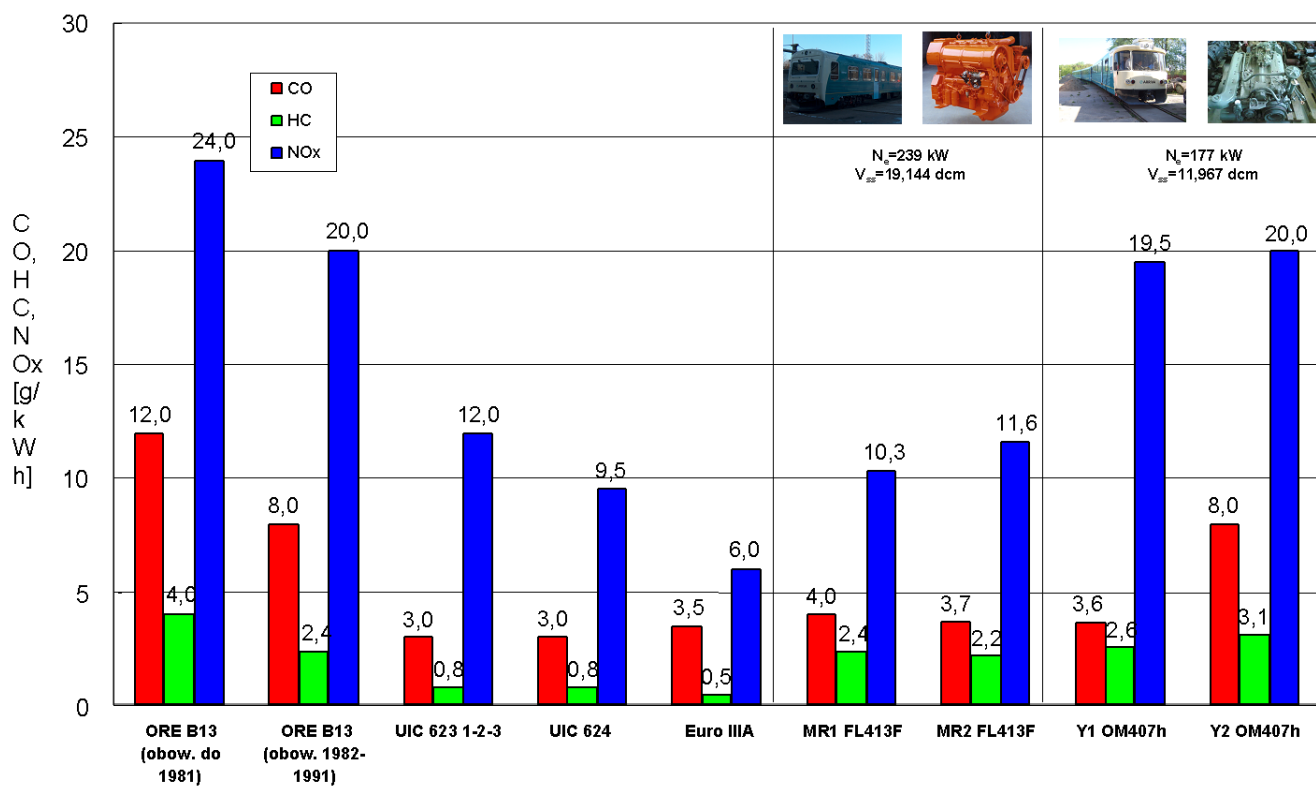
Parametry techniczne badanych silników spalinowych

Tabela 5

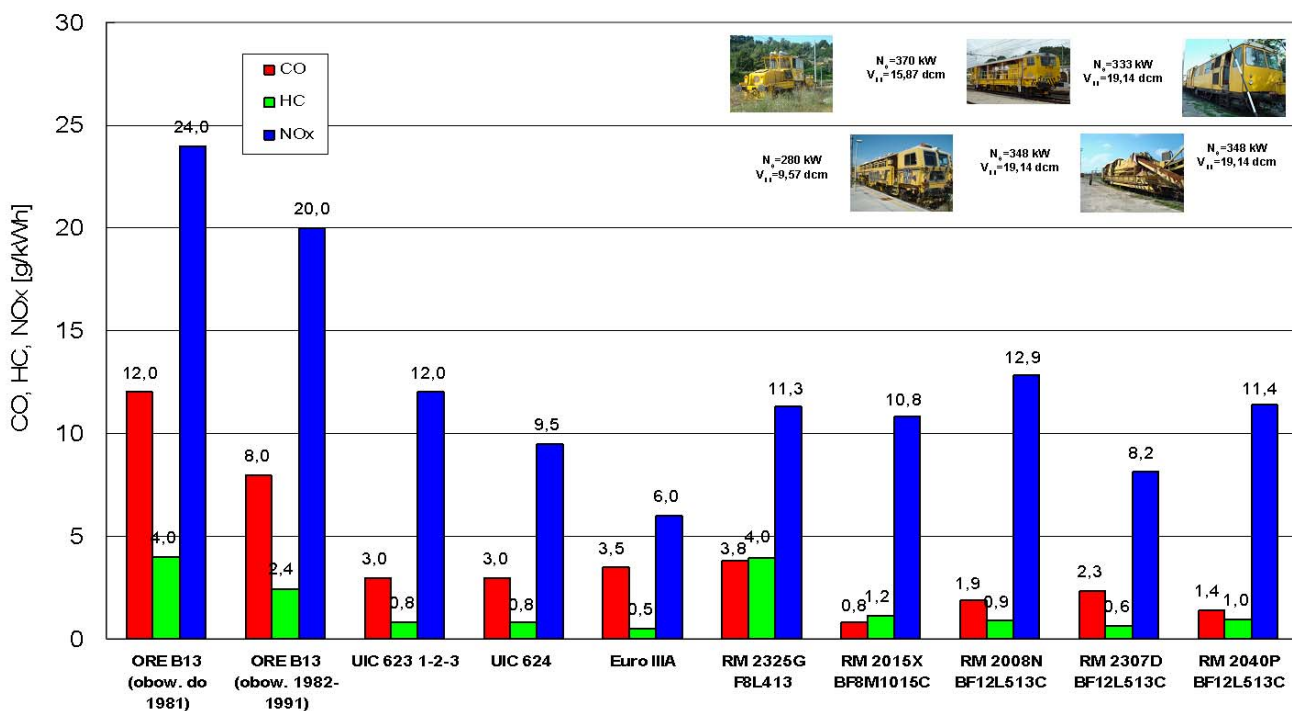
L.p.	Typ/seria badanej lokomotywy spalinowej	Typ badanego silnika spalinowego	Moc silnika spalinowego [kW]	Liczba/układ cylindrów R – rzędowy V – widlasty	Prędkość obrotowa $N_{e-max}$ [obr/min]	Objętość skokowa silnika [dm <sup>3</sup> ]	Zużycie jednostkowe [g/kW-h]	
							oleju napędowego (paliwa)	oleju smarowego
1.	Lokomotywa manewrowa 6D (SM42)	a8C22	588	8/V (50°)	1000	82,1	224,4	4,8
2.	Lokomotywa ST44 doposażona przez ZNTK Poznań	14D40	1470	12/V (45°)	750	150,6	228	2,7
3.	Lokomotywa ST44 zmodern. przez Pesa Bydgoszcz	12CzN26/26	1470	12/V (60°)	750	150,6	202,5	0,8
4.	Lokomotywa M62M modern. przez Rail Polska	645E3B	2238	16/V (45°)	893	105,7	–	–
5.	Lokomotywa manewrowa liniowa TEM2 zmodern. przez Pesa Bydgoszcz	PD1M	883	6/R	750	158,7	224	2,6
6.	Lokomotywa M62 oznaczona jako 120.002	14D40	1470	12/V (45°)	750	150,6	228	2,7
7.	Dwuczłonowy zespół trakcyjny typu MR/MRD	F12L413F	2x239	12/V (90°)	2160	19,144	216	–
8.	Trójczłonowy zespół trakcyjny typu Y	OM407h OM447h	2x177	6/R	2100	11,967	232	–
9.	Profilarka MPR RM 2325G Plaster Theurer SSP100	Deutz F8L413 KHD	280	8/R	2500	9,57	216	–
10.	Podbijarka MRN RM 2015X RLA 302h	Deutz BF8M1015C	370	8/R	2100	15,874	189	–
11.	Maszyna do poziomowania toru MST RM 2008N	Deutz BF12L513C	348	12/V	2300	19,144	205	–
12.	Czyszczarka MRJ RM 2307D	Deutz BF12L513C	333	12/V	2300	19,144	212	–
13.	Maszyna do zgrzewania szyn MSL RM 2040P	Deutz BF12L513C	348	12/V	2300	19,144	205	–



Rys. 6. Wyniki badań składników spalin emitowanych przez lokomotywy spalinowe



Rys. 7. Wyniki badań składników spalin emitowanych przez lekkie pojazdy szynowe



Rys. 8. Wyniki badań składników spalin emitowanych przez specjalne pojazdy szynowe

Zestawienie wyników badań emisji składników toksycznych przez silniki spalinowe wg PN-EN ISO 8178-1 dla cyklu F Tabela 6

Lp.	Typ/seria badanego pojazdu spalinowego	Typ badanego silnika spalinowego	Miejsce prowadzenia badań	CO	HC	NOx
1.	Lokomotywa manewrowa 6D (SM42)	a8C22	ZNTK Poznań	11,50	3,98	12,73
2.	Lokomotywa ST44 doposażona przez ZNTK Poznań	14D40	ZNTK Poznań	3,80	1,70	16,50
3.	Lokomotywa ST44 zmodern. przez Pesa Bydgoszcz	12CzN26/26	Pesa Bydgoszcz	0,94	0,73	9,60
4.	Lokomotywa EM62 modern. przez Rail Polska	645E3B	Rail Polska, Włosienica	2,50	1,03	10,77
5.	Lokomotywa manewrowa liniowa TEM2 zmodern. przez Pesa Bydgoszcz	PD1M	Pesa Bydgoszcz	3,83	2,45	11,51
6.	Lokomotywa M62 oznaczona jako 120.002	14D40	ZNTK Poznań	3,38	3,53	16,88
7a.	Dwuczłonowy zespół trakcyjny typu MR – 1 silnik	F12L413F	IPS Poznań	4,04	2,37	10,30
7b.	Dwuczłonowy zespół trakcyjny typu MRD – 2 silnik	F12L413F	IPS Poznań	3,69	2,24	11,60
8a.	Trójczłonowy zespół trakcyjny typu Y – 1 silnik	OM407h	IPS Poznań	3,61	2,56	19,51
8b.	Trójczłonowy zespół trakcyjny typu Y – 2 silnik	OM447h	IPS Poznań	7,95	3,05	19,99
9	Profilarka MPR RM 2325G Plaster Theurer SSP100	Deutz F8L413 KHD	Manopello/ Włochy	3,77	3,95	11,33
10	Podbijarka MRN RM 2015X RLA 302h	Deutz BF8M1015C	Manopello/ Włochy	0,83	1,16	10,83
11	Maszyna do poziomowania toru MST RM 2008N	Deutz BF12L513C	Varano/ Włochy	1,87	0,91	12,86
12	Czyszcarka MRJ RM 2307D	Deutz BF12L513C	Fano/ Włochy	2,32	0,63	8,17
13	Maszyna do zgrzewania szyn MSL RM 2040P	Deutz BF12L513C	Priverno/ Włochy	1,42	0,95	11,41



Po wykonanych badaniach i przeprowadzonych analizach należy stwierdzić, że przy prawidłowych regulacjach, wymianach zużytych elementów oraz części, silniki spełniają w zasadzie dopuszczalne wartości dla norm i przepisów obowiązujących w latach, w których je wyprodukowano i wdrażano do eksploatacji. Zaznaczyć należy również, że na tle nowoczesnych silników np. 12CzN26/26 pozostałe silniki, zwłaszcza dwusuwowe, prezentują się w miarę dobrze.

Biorąc ponadto pod uwagę to, że udział poszczególnych spalinowych pojazdów trakcyjnych w pracach przewozowych i pomocniczych w kraju jest wielokrotnie niższy od udziału transportu drogowego (zwłaszcza autobusowego i ciężarowego) emitowane przez nie składniki toksyczne do atmosfery są niewielkie więc oddziaływanie na środowisko naturalne może być niezauważalne.

Nie mniej jednak należałoby po każdej naprawie dokonywać okresowych sprawdzeń emisji spalin, zwłaszcza w odniesieniu do pojazdów starszych wiekiem.

## 6. Podsumowanie

Wykonane badania i przeprowadzone analizy potwierdzają, że dla wszystkich sprowadzanych spalinowych pojazdów trakcyjnych, nie spełniających wymagań w zakresie emisji składników toksycznych spalin, należy dążyć docelowo do wymiany przestarzałych silników (zwłaszcza dwusuwowych) na silniki nowocześniejsze.

W ramach doraźnych rozwiązań, zmniejszających szkodliwe oddziaływanie na środowisko naturalne przez silniki starszej generacji, poza wymienionymi już w pracy [2], należałoby zainstalować:

- pozasilnikowe układy oczyszczania spalin w postaci utleniających reaktorów katalitycznych dla zmniejszenia emisji tlenku węgla i węglowodorów, np. dwu- lub jednowejściowe płaskie i okrągłe katalizatory z tłumikami lub bez
- filtry cząstek stałych
- filtry sadzy (zamienne z filtrami cząstek stałych).

Możliwości zmniejszenia emisji dla poszczególnych składników szkodliwych można ująć w następujący sposób:

- dla emisji tlenków azotu:
  - opóźnienie kąta początku wtrysku paliwa
  - właściwe ciśnienie początku wtrysku paliwa
  - regulacja ciśnienia doładowania
- dla emisji tlenku węgla:
  - wymiana i regulacja wtryskiwaczy
  - utrzymanie współczynnika nadmiaru

- powietrza (przez ustawienie właściwego ciśnienia doładowania) na prawidłowym poziomie w warunkach mocy maksymalnej
- dla emisji węglowodorów:
  - wymiana lub regulacja rozpylaczy wtryskiwaczy
  - konieczność sprawdzenia ciśnienia sprężania (indykowanie silnika) w celu ewentualnej wymiany zestawów tłok-pierścienie
- dla emisji cząstek stałych:
  - prawidłową regulację układu recyrkulacji spalin
  - wyposażenie silnika w układy oczyszczania spalin.

Główne możliwości redukcji emisji składników szkodliwych spalin w silniku to:

- w zakresie spalania:
  - zastosowanie niskociśnieniowej recyrkulacji spalin,
  - zmiana parametrów wtrysku paliwa, zastosowanie wtryskiwaczy piezoelektrycznych,
  - optymalizacja systemu doładowania silnika,
  - optymalizacja układu chłodzenia silnika,
- w zakresie oczyszczania spalin:
  - zainstalowanie filtrów cząstek stałych
  - instalacja kombinacji reaktorów utleniających i filtrów
  - zastosowanie selektywnej redukcji katalitycznej
  - zamontowanie absorberów tlenków azotu
- w zakresie paliw:
  - stosowanie lepszej jakości paliw (zmniejszenie zawartości siarki)
  - zastępowanie paliw konwencjonalnych paliwem typu biodiesel
  - stosowanie paliw alternatywnych (skroplony gaz ziemny, sprężony gaz ziemny, wodór).

Ponadto naprawiane silniki – zarówno podczas naprawy rewizyjnej i głównej – powinny być każdorazowo poddawane badaniom (np. na oporniku) w zakresie emisji składników toksycznych.

Dodatkowo, z każdego przeprowadzonego badania proponuje się sporządzenie protokołu z oceną, który powinien być podstawą dla uzyskania przez pojazd świadectwa sprawności technicznej i dopuszczenia do eksploatacji na Polskich Liniach Kolejowych S.A.

Należy również zwrócić uwagę na to, że dla silników trakcji spalinowej winny obowiązywać jedne procedury przeprowadzania badań i jedne limity emisji spalin, tak jak ma to miejsce, np. w Stanach Zjednoczonych i Japonii [10].

## Literatura

- [1] Marciniak Z., Merkiś J., Pielecha I., Pielecha J.: *Mobilne stanowisko do badań emisji składników toksycznych spalin silników spalinowych*. *Pojazdy Szynowe*, nr 3/2002.
- [2] Marciniak Z., Pielecha I.: *Możliwości poprawy parametrów ekologicznych silników dla naprawianych i modernizowanych lokomotyw spalinowych*. *Pojazdy Szynowe*, nr 2/2004.
- [3] Marciniak Z., Pielecha I.: *Sprawozdanie z oceny silnika spalinowego lokomotywy V200 (ST44) w zakresie emisji składników toksycznych spalin*. *Opracowanie SB-2252*. Praca IPS „Tabor” Poznań, 2004.
- [4] Marciniak Z., Pielecha I.: *Sprawozdanie z badania emisji składników toksycznych spalin silnika 5D49 lokomotywy spalinowej BR232*. *Opracowanie SB-2259*, Praca IPS „Tabor”. Poznań 2005.
- [5] Marciniak Z., Pielecha I.: *Sprawozdanie z badania emisji składników toksycznych spalin silnika lokomotywy spalinowej EM62-001*. *Opracowanie SB-2278*, Praca IPS „Tabor”. Poznań 2005.
- [6] Marciniak Z., Pielecha I.: *Sprawozdanie z badania emisji składników toksycznych spalin silnika lokomotywy spalinowej M62-0161*. *Opracowanie SB-2284*, Praca IPS „Tabor”. Poznań 2006.
- [7] Marciniak Z., Pielecha I.: *Sprawozdanie z badania emisji składników toksycznych spalin silników 5D49 i CAT3606 lokomotyw spalinowych BR231/BR232*. *Opracowanie SB-2285*, Praca IPS „Tabor”. Poznań 2006.
- [8] Pielecha I., Czerwiński J.: *Sprawozdanie z badania emisji składników toksycznych spalin silnika lokomotywy spalinowej V200 (ST44-M62) nr 1241*. *Opracowanie SB-2275*. Praca IPS „Tabor”. Poznań 2005.
- [9] Pielecha I., Czerwiński J.: *Sprawozdanie z badania emisji składników toksycznych spalin silnika lokomotywy spalinowej SM42 nr 2508*. *Opracowanie SB-2277*, Praca IPS „Tabor”. Poznań 2006.
- [10] Pielecha I., Pielecha J.: *Tendencje w przepisach dotyczących emisji związków toksycznych przez silniki spalinowe pojazdów szynowych*. *Pojazdy Szynowe*, nr 1/2005.
- [11] Raczyński J.: *Ograniczanie emisji spalin z silników kolejowych w prawie unijnym*. *Technika Transportu Szynowego* 2004, nr 7/8.
- [12] Karta UIC 624 *Badanie emisji gazów wdechowych silników spalinowych trakcyjnych*. Wyd. 2 z kwietnia 2003.
- [13] *Directive 97/68/EC of the European Parliament and of the council z 16.12.1997*, wydanie 27.02.1998.
- [14] *Directive 2004/26/EC of the European Parliament and of the council z 21.04.2004*.
- [15] *Raport ORE B13 Rp. 22, Dopuszczenie do eksploatacji oraz utrzymywanie silników spalinowych*. *Graniczne wartości emisji składników toksycznych spalin silników spalinowych*. Utrecht, kwiecień 1978 r.
- [16] *Norma PN-EN ISO 8178-1, Silniki spalinowe tłokowe. Pomiar emisji spalin. Pomiar emisji składników gazowych i cząstek stałych na stanowisku badawczym*. Wyd. styczeń 1999.
- [17] *Norma PN-EN ISO 8178-4, Silniki spalinowe tłokowe. Pomiar emisji spalin. Cykle badawcze silników o różnym zastosowaniu*. Wyd. styczeń 1999.
- [18] Karta UIC 623-2, *Badania homologacyjne silników spalinowych pojazdów napędowych*. Wyd. 3 z kwietnia 2005.
- [19] 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.