

Zygmunt Marciniak, Ireneusz Pielacha

Wymagania w zakresie ograniczenia emisji toksycznych składników spalin przez spalinowe pojazdy trakcyjne

Artykuł poświęcono zagadnieniom badań i dopuszczeń spalinowych pojazdów trakcyjnych (lokomotywy liniowe i manewrowe, autobusy szynowe) w świetle ostrych wymagań związanych z ochroną środowiska. Przedstawiono w nim dopuszczalne limity zawartości składników toksycznych spalin dla różnych przepisów, norm i dyrektyw europejskich i amerykańskich w odniesieniu do silników pojazdów szynowych i silników samochodowych, które znajdują zastosowanie w lekkich pojazdach szynowych, tzw. autobusach szynowych.

W artykule zaprezentowano również aparaturę do badań i mobilne stanowisko badawcze oraz metodykę badań i zasady wyznaczania emisji składników toksycznych spalin. Ponadto przedstawiono wyniki pomiarów realizowanych na opornikach (w różnych zakładach) dla lokomotyw krajowych po naprawach głównych i remontacji oraz dla lokomotyw sprowadzanych z zagranicy wyposażonych w silniki nowe i remontowane. W zakończeniu przedstawiono przejściowe i docelowe rozwiązania mające na celu ograniczenie emisji do atmosfery składników toksycznych zawartych w spalinach.

Wysokoprężne silniki spalinowe ze względu na swoje zalety nadal pozostają głównym źródłem napędu spalinowych pojazdów trakcyjnych ze wszystkimi rodzajami przekładni głównych [3]. W ostatnim okresie, w związku ze szkodliwym oddziaływaniem na środowisko naturalne silników spalinowych zastosowanych w pojazdach samochodowych (samochody osobowe i ciężarowe, autobusy, maszyny budowlane, maszyny robocze), wprowadzono wiele zmian w przepisach dotyczących dopuszczalnej emisji składników toksycznych do atmosfery oraz zmian w metodykach pomiarowych i badawczych.

Działania te wymusiły również zmiany w podejściu do silników przewidzianych do zastosowania w spalinowych pojazdach trakcyjnych, mimo tego, że ich udział w emisji spalin (zwłaszcza substancji toksycznych i cząstek stałych) jest niewielki w stosunku do emisji silników pojazdów samochodowych.

Szacunkowy (procentowy) udział w emisji składników toksycznych spalin pojazdów szynowych i pojazdów samochodowych przedstawiono w tabeli 1.

Najwięksi więc producenci silników spalinowych zostali zmuszeni do ciągłej modernizacji konstrukcji, osprzętu oraz stosowanych materiałów eksploatacyjnych, w tym paliwa i środków smarnych [3].

W kraju jeszcze do niedawna największym użytkownikiem spalinowych pojazdów trakcyjnych (zwłaszcza lokomotyw) było PKP CARGO, które eksploatowało dwanaście serii lokomotyw (w tym modernizowanych) oraz PKP Przewozy Regionalne eks-

platuujące lekkie pojazdy szynowe zwane autobusami szynowymi w liczbie kilkudziesięciu sztuk. Ponadto w większych zakładach przemysłowych (huty, stocznie, kopalnie) eksploatuje się najczęściej spalinowe lokomotywy manewrowe, a od kilku lat sprowadzanych jest do kraju coraz więcej spalinowych pojazdów trakcyjnych (zwłaszcza lokomotyw) przez przewoźników nie skupionych w byłych i obecnych strukturach Polskich Kolei Państwowych, zwanych potocznie operatorami prywatnymi.

Również dotychczasowi dysponenci transportu szynowego w kopalniach, hutach i w innych dużych zakładach przemysłowych starają się przekształcać posiadane lokomotywy manewrowe na lokomotywy liniowe, realizując przewozy z wykorzystaniem Polskich Linii Kolejowych, np. z kopalni do elektrowni lub elektrociepłowni.

Ponadto powstały również niezależne od struktur PKP koleje regionalne (np. mazowieckie, nadwiślańskie), które eksploatują lub zamierzają eksploatować autobusy szynowe i spalinowe zespoły trakcyjne sprowadzane z zagranicy.

Ogólne zestawienie typów i rodzajów spalinowych pojazdów trakcyjnych oraz zastosowanych w nich silników spalinowych przedstawiono w tabeli 2.

Większość silników spalinowych pojazdów trakcyjnych, zwłaszcza lokomotyw eksploatowanych w kraju, nie spełnia wymagań w zakresie emisji do atmosfery składników toksycznych występujących w spalinach. Również lokomotywy spalinowe i spalinowe zespoły trakcyjne sprowadzane z zagranicy są w różnym stanie technicznym, nie są zarówno młode wiekiem, jak i mają przestarzałe rozwiązania konstrukcyjne. Pojazdy te mimo poddania ich naprawom i regulacjom (w tym wymianom zużytych elementów, części i aparatów) mogą osiągnąć tylko spełnienie wymagań odnośnie emisji substancji toksycznych do atmosfery na czas ich produkcji, a więc spełniają wymagania ujęte w przepisach które obowiązywały w latach 60. i 70. XX w.

Ponieważ zagadnienia związane z ochroną środowiska są bardzo ważne również w odniesieniu do spalinowych pojazdów trakcyjnych, dalsza część artykułu poświęcona będzie zagadnieniom:

Tabela 1

Szacunkowa emisja spalin spalinowych pojazdów trakcyjnych i pojazdów samochodowych

Składniki spalin	Emisja spalin w [%]	
	spalinowe pojazdy trakcyjne	pojazdy samochodowe
Tlenek węgla (CO)	1,3	98,7
Dwutlenek węgla (CO ₂)	2,6	97,4
Węglowodory (HC)	2,5	97,5
Tlenki azotu (NO _x)	10,5	89,5
Dwutlenek siarki (SO ₂)	18,2	81,8

Zestawienie spalinowych pojazdów trakcyjnych i zastosowanych w nich silników spalinowych

Lp.	Seria (typ) pojazdu	Typ silnika spalinowego	Moc silnika [kW]	Uwagi
<i>Lokomotywy spalinowe</i>				
1	SP32	M820SR	957	produkcja rumuńska
2	SP32 zmodernizowana	12V396TC Faur	1015	modernizacja ZNLS Piła, ZNTK Poznań, ZNTK Nowy Sącz
3	SP (SU) 42 (lub 6D)	a8C22	588	
4	SP (SU) 45	Fiat 2112SSF	1250	
5	SU46	Fiat 2112SSF	1654	
6	ST43 (lub 060Da)	12LDA28	1544	produkcja rumuńska
7	ST44 (lub M62)	14D40	1470	produkcja radziecka
8	ST44 zmodernizowana	CAT 3516 HD-SC	2240	modernizacja Bumar-Fablok dla LHS
9	TEM2	PDIM	882	produkcja radziecka
10	TEM2 zmodernizowana	132V96TC14 lub 12V4000R41	1015 lub 1500	modernizacja konsorcjum dla Pol-Miedź-Trans
11	M62 zmodernizowana	12CzN26/26	1470	modernizacja Pesy dla Pol-Miedź-Trans
12	BR231/BR232	5D49	2208	produkcja radziecka
13	BR232 zmodernizowana	CAT 3606	1975	modernizacja Bombardier Kassel
14	EM62 zmodernizowana	645E3B	2238	modernizacja Rail Polska
15	6D zmodernizowana	12V396TC12 Faur	700	modernizacja ZNTK Piła
16	S200	K6S310DR	993	produkcja czeska
17	T448P	K6S230DR	830	produkcja czeska
18	JT42CWR (58EMD)	645E3C	2240	produkcja amerykańska
<i>Lokomotywy manewrowe</i>				
19	SM03	2DSR150	110	
20	SM30	3DVSRa	220	
21	SM42	a8C22	588	
22	SM31	a8C22W	888	
23	SM48	PDIM	882	produkcja radziecka
24	401Da	12V1416A	257	
25	409Da	14H6	133	
<i>Lekkie pojazdy (autobusy szynowe)</i>				
26	SA101 i SA102 (207M)	Deutz BF6L523RC	200	ZNTK Poznań
27	SA105 (213M i 213Ma)	MAN D2866LUH21	250	
28	SA108 (215M)	MAN D2866LUH21	250	
29	SN81 (SPA66)	Andrychów 6TC107	110	Kolzam Racibórz
30	SA104/SA122 (208M)	MTU6R183AA12H	157	
31	SA107 (211M)	Raba D10UTSLL	191	
32	SA109 (212M)	Raba D10UTSLL	191	
33	SA106 (214M)	MAN D2842 (lub IVECO V8)	500 (480)	Pesa Bydgoszcz
34	SA106 (214Ma)	6H1800MTU	350	
35	SA106 (214Mb)	MAN R6D2876WE623	380	
36	SA131 (132) (218M, 218Ma, 218Mb)	IVECO V8 (2x6H1800MTU, MAN LUE623)	500 (700)	
37	SA110 (VT624)	MAN	331	produkcja niemiecka
38	VT627	DBOM424	287	produkcja niemiecka (koleje mazowieckie)
39	VT628	Deutz F12L413	2×221	produkcja niemiecka (koleje mazowieckie)

- wymagań stawianych silnikom spalinowym, zwłaszcza w zakresie spełniania dopuszczalnych limitów emisji składników toksycznych według różnych norm, przepisów i dyrektyw;
- aparatury badawczej oraz stosowanych metodyk i zasad wyznaczania emisji składników toksycznych;
- wynikiem badań silników spalinowych remontowanych i nowych zastosowanych w naprawianych i modernizowanych lokomotywach liniowych i manewrowych;
- doraźnym, przejściowym i docelowym pracom regulacyjno-sprawdzającym, mającym na celu ograniczenie emisji, zwłaszcza przez silniki spalinowe starszej generacji.

Autorzy mają nadzieję, że decydenci – krajowe przedsiębiorstwa kolejowe w większym stopniu wprowadzą w życie program modernizacji posiadanych i eksploatowanych spalinowych pojaz-

dów trakcyjnych tak, by ich eksploatacja była „przyjazna” dla środowiska.

Wymagania stawione silnikom do zastosowania w spalinowych pojazdach trakcyjnych

Do najważniejszych wymagań ogólnych, które są postawione nowoczesnym silnikom spalinowym, należą [3]:

- mała masa własna i związane z tym małe obciążenie dynamiczne osi, korzystne rozłożenie tego obciążenia, łatwy montaż silnika i jego części;
- niewielkie wymiary silnika, pozwalające na łatwą jego zabudowę na ramie lokomotywy; w przypadku rekonstrukcji pojazdu odzyskana przestrzeń może być wykorzystana do powiększenia powierzchni użytkowej pojazdu lub zwiększenia mocy silnika;

mniejsze wymiary silnika stwarzają dogodne warunki kontroli i obsługi urządzeń pojazdu podczas przeglądów;

- modułowa konstrukcja wyposażenia uzupełniającego silnika, która czyni konstrukcję agregatów napędowych zwartą oraz upraszcza przeglądy techniczne;
- konstrukcja tłoków pozwalająca zwiększyć obciążalność silnika, utrzymać stały luz tłoka w cylindrze oraz zmniejszyć zużycie oleju;
- trójścienne rury wylotowe spalin powodujące mniejsze wypromieniowanie ciepła wytwarzanego przez silnik z nieznacznym przewietrzaniem przestrzeni silnika, zmniejszające niebezpieczeństwo pożaru i ułatwiające dostęp do silnika;
- odtaczanie zasilania cylindrów silnika w celu zminimalizowania niepełnego spalania paliwa (tworzenia białego dymu), zmniejsza się jednocześnie skłonność do osadzania koksu na głowicy cylindra oraz pozwala uniknąć zimnej korozji głowicy cylindra;
- kontrolowane napełnienie cylindrów umożliwiające poprawę pracy silnika przy częściowym obciążeniu, poszerza pole charakterystyki silnika i polepsza automatyczną reakcję silnika na zmianę obciążenia;
- nowy system wtrysku paliwa; zasadniczym jego elementem jest nowa pompa wtryskowa o podwyższonym ciśnieniu wtrysku paliwa i odpowiednio do tego dopasowana dysza wtryskowa polepszająca rozpylanie paliwa; jednocześnie do tego systemu spalania należy odpowiednio przystosować uszczelnienie silnika.

Natomiast szczegółowe parametry silnika spalinowego, przytaczane często w wymaganiach techniczno-eksploatacyjnych opracowanych przez zamawiającego są następujące (w nawiasach parametry dla silników z przeznaczeniem do lekkich pojazdów szynowych):

rodzaj	wysokoprężny czterosurowy z wtryskiem bezpośrednim chłodzony cieczą
prędkość obrotowa	600 ÷ 1800 (2100) obr/min
moc	w zależności od przeznaczenia i zadań trakcyjnych (przewozowych)
jednostkowe zużycie oleju smarnego	≤200 (210) g/kWh
jednostkowe zużycie oleju smarnego	0,5% zużycia paliwa
czas pracy	
do rewizji układu tłokowego	≥20 000 (10 000)
do naprawy głównej	≥40 000 (20 000) h
wtrysk paliwa	zalecane elektroniczne sterowanie dawką paliwa
rozruch silnika	elektryczny
regulator obrotów	elektryczny, zapewniający optymalny przebieg charakterystyki eksploatacyjnej
paliwo i olej smarny	zgodny z normami krajowymi i dostępny na rynku krajowym
emisja składników toksycznych spalin do atmosfery	zgodna z kartą UIC 624 i dyrektywami Unii Europejskiej

Wymagania (przepisy i normy) stawiane silnikom spalinowym

w zakresie emisji składników toksycznych spalin

W ostatnich latach w Europie, w tym również w kraju, zwraca się coraz baczniejszą 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.

Generalnie w Europie obowiązują dwa główne przepisy, regulujące wymagania dla silników spalinowych pojazdów trakcyjnych w zakresie dopuszczalnych składników toksycznych zawartych w spalinach emitowanych do atmosfery. Są to wymagania ujęte w raporcie ERRI (dawniej ORE) [24] oraz w kartach UIC [21, 27], nie mających jednak umocowania prawnego w świetle prawa międzynarodowego, a są tylko zobowiązaniami wszystkich kolei skupionych w UIC (Międzynarodowym Związku Kolejowym) [20].

Z przepisów tych korzysta się nadal do oceny zastosowanych silników w spalinowych pojazdach trakcyjnych. Obecnie zostały wydane dyrektywy, mające moc prawa unijnego, w których określono szczegółowo wymagania w zakresie dopuszczalnych emisji 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). Najważniejszymi dyrektywami Komisji Europejskiej i Parlamentu Europejskiego są [6, 22, 23]:

- dyrektywa 2004/26 (nowelizacja dyrektywy 97/68) dla silników lokomotyw i wagonów motorowych,
- dyrektywa 1999/96/EC i 2001/27/EC dla silników samochodowych o zapłonie samoczynnym o mocach powyżej 85 kW,
- dyrektywa 2004/26/EC i 2005/13/EC dla silników o mocach 130 ÷ 560 kW,
- dyrektywa 1995/96/EC i 2001/27/EC dla silników wysokoprężnych zasilanych olejem napędowym i gazem.

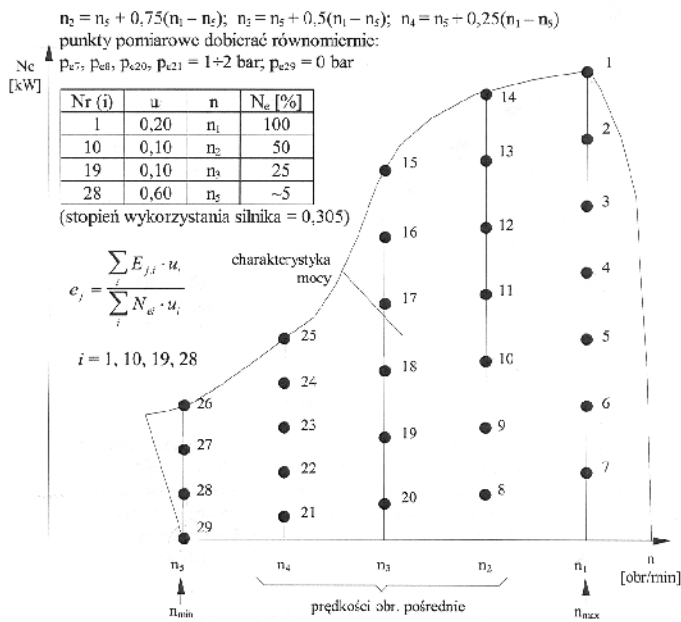
Badania silników spalinowych pojazdów trakcyjnych prowadzone są według różnorodnych testów określonych zarówno w przepisach i normach kolejowych, jak i dyrektywach Parlamentu Europejskiego.

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

- Test badawczy dwudziestodwufazowy według raportu ORE B13 Rp22 [24], przy czym do analiz obliczeniowych z 29 punktów pomiarowych (zależnie od prędkości obrotowej minimalnej, przez prędkości pośrednie do maksymalnych oraz od mocy minimalnej do maksymalnej) przyjmuje się tylko cztery, dobrane równomiernie dla badanego silnika spalinowego (obowiązuje dla silników produkowanych w tym okresie) – rysunek 1.

Dopuszczalne limity składników toksycznych w spalinach przedstawiono w tabeli 3.

- Test badawczy według PN-EN ISO 8178 cykl F [26] uwzględniający trzy punkty pomiarowe obciążenia silnika spalinowego: na biegu jałowym (60% dla obrotów biegu jałowego, bez obciążenia), biegu pośrednim (15% dla obrotów pośrednich i około 50%



Rys. 1. Przebieg testu 29-fazowego według raportu ORE B13Rp22

Tabela 3

Limity emisji spalin według ORE B13 Rp22

Data wprowadzenia (obowiązywania)	Emisja [g/kWh]			
	CO (tlenek węgla)	NO _x (tlenki azotu)	HC (węglowodory)	zaczernienie k [m ⁻¹]
Do 31.12.1981	12	24	4,0	1,6 ÷ 2,5
Od 01.01.1982	8	20	2,4	1,6 ÷ 2,5
Od 01.02.1991	4	16	1,6	1,6 ÷ 2,5
Od 01.02.1997	3	12	0,8	1,6 ÷ 2,5

Tabela 4

Limity emisji spalin według kart UIC 623-2 i UIC 624

Data wprowadzenia (obowiązywania)	Emisja [g/kWh]			
	CO (tlenek węgla)	NO _x (tlenki azotu)	HC (węglowodory)	PM cząstki stałe
Do 31.12.2002 UIC I	3	12	0,8	1,6 (2,5)*
Od 01.01.2003 UIC II				
dla P ≤ 560 kW	2,5	6	0,6	0,25
dla P > 560 kW	3	n > 1000 obr./min 9,5 n ≤ 1000 obr./min 9,9	0,8	0,25
Od 01.01.2008				
dla P 560 kW	2	4,6	0,5	0,15
dla P > 560 kW	2	6,0	0,5	0,20

* Do 31.12.2002 obowiązywał pomiar zadymienia spalin.

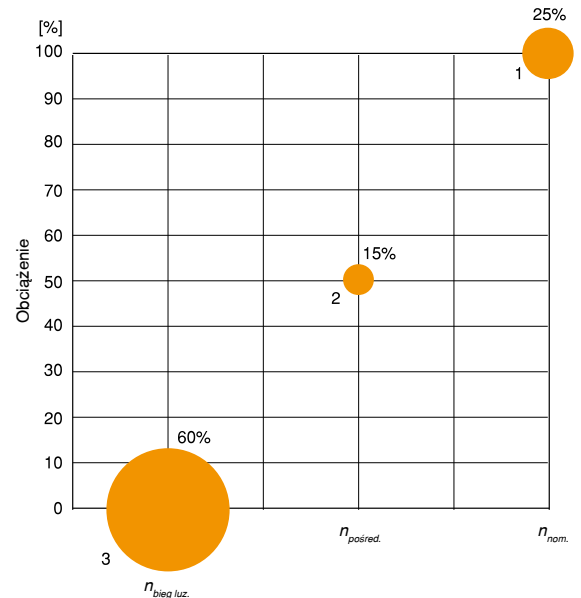
obciążenia) oraz na biegu maksymalnym (25% dla obrotów maksymalnych i 100% obciążenia) – rysunek 2.

Dopuszczalne limity emisji według obowiązujących jeszcze kart UIC [21,27] przedstawiono w tabeli 4.

■ Test badawczy według PN-EN ISO 8178 cykl C1 [26] dla silników zabudowywanych przede wszystkim w lekkich pojazdach szynowych, np. autobusach szynowych. Cykl C1 uwzględni ocenę dla ośmiu punktów pomiarowych, zależnych od obciążenia i tzw. współczynników ważonych.

Dopuszczalne limity dla lokomotyw i wagonów motorowych według dyrektywy Komisji Europejskiej zarówno dla badań według cyklu F, jak i C1 przedstawiono w tabeli 5.

Ponadto dla pojazdów szynowych, w których zostaną zastosowane silniki samochodowe z zapłonem samoczynnym, zarówno



Rys. 2. Przebieg testu badawczego według PN-EN ISO 8178-4-cykl F

na olej napędowy, jak i paliwa gazowe, zalecane były i będą badania według następujących testów [6]:

- ECE R49 – test europejskiej komisji gospodarczej (agenda ONZ);
- ESC – stacjonarny test europejski;
- ELR – obciążeniowy test europejski;
- ETC – europejski test niestacjonarny.

Dopuszczalne limity emisji składników toksycznych spalin emitowanych do atmosfery przez badane i oceniane silniki według wyszczególnionych testów ujętych w poszczególnych dyrektywach Parlamentu Europejskiego i Komisji Europejskiej przedstawiono w tabelach 6, 7 i 8 [22, 23].

Oczywiste jest, że dla nowo projektowanych pojazdów szynowych o zakresie badania silników spalinowych i zakresie spełnienia określonych wymagań zadecyduje przede wszystkim użytkownik lub zamawiający, przedstawiając szczegółowe wytyczne techniczno-eksploatacyjne.

Analiza wszystkich zaprezentowanych wymagań wykazała różnice w dopuszczalnych wartościach emisji poszczególnych składników toksycznych spalin. Należałoby więc przynajmniej zrewidować wszystkie wymagania i określić jedne procedury przeprowadzenia badań i jednakowe limity emisji spalin dla silników stosowanych w spalinowych pojazdach trakcyjnych.

W Stanach Zjednoczonych od kilkudziesięciu lat obowiązuje ten sam test badawczy, przy zmieniających się wartościach dopuszczalnych emisji składników toksycznych, i tak dla silników produkowanych [5, 19]:

- w latach 1973–1999 obowiązywały wartości dopuszczalne – Tier 0,
- w latach 2000–2004 – Tier 1,
- po 2005 r. – Tier 2.

Przebieg testu badawczego 10-fazowego przedstawiono na rysunku 3, dopuszczalne limity na rysunku 4, natomiast w tabeli 9 zaprezentowano udziały procentowe testu dla poszczególnych typów lokomotyw spalinowych [19].

Należy również nadmienić, że w Japonii dopuszczenie silników spalinowych do eksploatacji odbywa się według podobnych i jednoznacznych procedur.

Limity spalin według dyrektywy 2004/26 (nowelizacja dyrektywy 97/68) Komisji Europejskiej

Data wprowadzenia (obowiązywania)	Typ (rodzaj) pojazdu trakcyjnego, moc P [kW]	Emisja [g/kWh]					Rodzaj cyklu badawczego wg PN-EN ISO 8178-4
		CO	HC	HC+NO _x	NO _x	PM	
IIIA RCA 01.07.05/01.01.06*	Wagon motorowy, $P > 130$	3,5	–	4	–	0,200	C1
RLA 01.01.06/01.01.06*	Lokomotywa, $130 < P < 560$	3,5	–	4	–	0,200	F
RHA 01.01.08/01.01.09*	Lokomotywa, $P > 560$	3,5	0,50	–	6,0	0,200	F
RHA 01.01.08/01.01.09*	Lokomotywa, $P > 2000$; pojemność cylindra $> 5 \text{ dm}^3$	3,5	0,40	–	7,4	0,200	F
IIIB RCB 01.01.11/01.01.12*	Wagon motorowy, $P > 130$	3,5	0,19	–	2,0	0,025	C1
RB 01.01.11/01.01.12*	Lokomotywa, $P > 130$	3,5	–	4	–	0,025	C1

* Data wejścia w życie dla procedur dopuszczenia/data wejścia w życie w eksploatacji.

Tabela 6

Limity emisji spalin według dyrektyw 1999/96/EC i 2001/27/EC Parlamentu Europejskiego dla spalinowych silników samochodowych z zapłonem samoczynnym o mocach powyżej 85 kW

Data wprowadzenia (obowiązywania)	Rodzaj testu	Emisja [g/kWh]				
		CO	HC	NO _x	PM (cząstki stałe)	Zadymienie [k^{-1}]
Euro I	01.01.1992 ECE R49	4,5	1,10	8,0	0,612	–
Euro II	01.10.1996 ECE R49	4,0	1,10	7,0	0,250	–
	01.10.1998	4,0	1,10	7,0	0,150	–
Euro III	01.01.1999 ESC i ELR	1,5	0,25	2,0	0,020	0,15
	01.10.2000	2,1	0,66	5,0	0,100	0,80
Euro IV	01.10.2005	1,5	0,46	3,5	0,020	0,50
Euro V	01.10.2008	1,5	0,46	2,0	0,020	0,50

Tabela 7

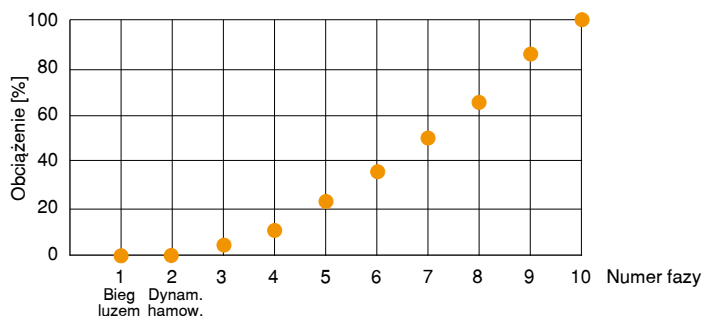
Limity emisji spalin według dyrektyw 2004/26/EC i 2005/13/EC Parlamentu Europejskiego dla silników o mocach $130 \text{ kW} \geq P \leq 560 \text{ kW}$

Data wprowadzenia (obowiązywania)	Emisja [g/kWh]					
	CO	HC	NO _x	NO _x +HC	PM	
Stage I	01.01.1999	5,0	1,30	9,2	–	0,540
Stage II	01.01.2002	3,5	1,00	6,0	–	0,200
Stage IIIA	01.01.2006	3,5	–	–	4	0,200
Stage IIIB	01.01.2011	3,5	0,19	2,0	–	0,025
Stage IV	01.01.2014	3,5	0,19	0,4	–	0,025

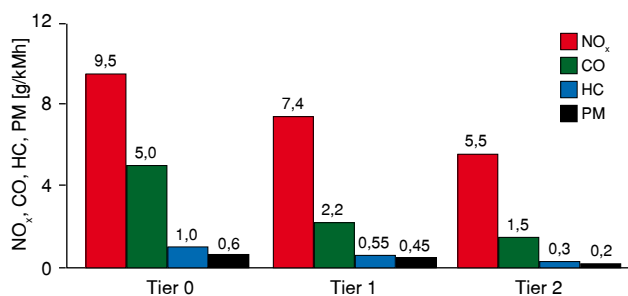
Tabela 8

Limity emisji spalin według dyrektyw 1995/96/EC i 2001/27/EC Parlamentu Europejskiego dla silników wysokoprężnych zasilanych olejem napędowym i gazem według testu ETC (europejski test niestacjonarny)

Data wprowadzenia (obowiązywania)	Emisja [g/kWh]					
	CO (tlenek węgla)	NMHC (węglowodory bez udziału metanu)	CH ₄ (metan – silniki na gaz ziemny)	NO _x (tlenki azotu)	PM (cząstki stałe)	
Euro III	01.10.1999	3,00	0,40	0,65	2,0	0,02
	01.10.2000	5,45	0,78	1,60	5,0	0,16
Euro IV	01.10.2005	4,00	0,55	1,10	3,5	0,03
Euro V	01.10.2008	4,00	0,55	1,10	2,0	0,03



Rys. 3. Przebieg amerykańskiego testu 10-fazowego dla lokomotyw spalinowych



Rys. 4. Dopuszczalne limity emisji składników toksycznych do atmosfery dla lokomotyw spalinowych według amerykańskiego 10-fazowego testu

Tablica 9

Udziały procentowe poszczególnych faz amerykańskiego 10-fazowego testu badawczego

Nr fazy	Obciążenie [% N_{emax}]	Typ lokomotywy		
		manewrowe	pasażerskie	towarowe
1	–	38,0	47,4	59,8
2	–	12,5	6,2	0,0
3	4,5	6,5	7,0	12,4
4	11,5	6,5	5,1	12,3
5	23,5	5,2	5,7	5,8
6	35,0	4,4	4,7	3,6
7	48,5	3,8	4,0	3,6
8	64,0	3,9	2,9	1,5
9	85,0	3,0	1,4	0,2
10	100,0	16,2	15,6	0,8

Zasady badań i oceny silników w zakresie emisji spalin dla spalinowych pojazdów trakcyjnych

W kraju jednym z prężniejszych ośrodków zajmujących się badaniami szkodliwego oddziaływania na środowisko naturalne silników eksploatowanych i wprowadzonych w ramach remontacji w spalinowych pojazdach trakcyjnych jest Instytut Pojazdów Szynowych „Tabor” (wspólnie z Instytutem Silników Spalinowych i Transportu Wydziału Maszyn Roboczych i Transportu Politechniki Poznańskiej) dysponujący zarówno odpowiednią aparaturą, jak i mobilnym laboratorium które umożliwiają wykonanie testów badawczych i wydanie odpowiednich świadectw (protokołów) z przeprowadzonych badań. W dalszej części zaprezentujemy aparaturę badawczą, mobilne laboratorium oraz metodyki badań i zasady wyznaczania emisji składników toksycznych spalin realizowanych przez IPS „Tabor” Poznań.

Aparatura badawcza

Do wyznaczania emisji, a w zasadzie stężeń poszczególnych składników toksycznych spalin emitowanych do atmosfery przez silniki spalinowe służą Instytutowi Pojazdów Szynowych „Tabor” w Poznaniu dwa układy (systemy) pomiarowe:

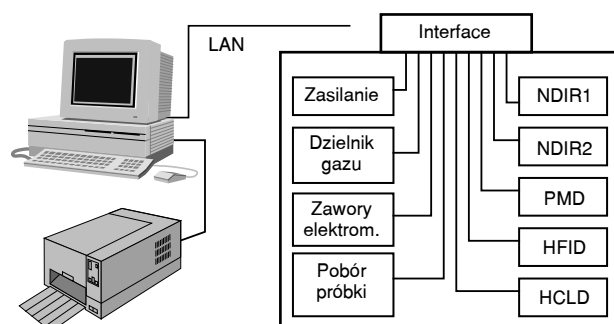
- 1) Mexa 7100 D japońskiej firmy Horiba,
- 2) Testo 360 niemieckiej firmy Testo Osteuropa GmbH.

Pierwszy z nich (rys. 5, ze schematem połączeń jego modułów przedstawionym na rys. 6) służy do pomiarów składników toksycznych spalin metodami homologacyjnymi, których zakresy dobierane są odpowiednio do przewidywanych stężeń związków toksycznych zawartych w spalinach silnika.

Ze względu na długotrwały okres przygotowania aparatury, w tym kalibracja – dobór stężeń gazów kalibracyjnych do mierzo-



Rys. 5. Aparatura badawcza systemu Mexa 7100D firmy Horiba



Rys. 6. Schemat połączeń modułów: NDIR1 – moduł do pomiaru CO; NDIR2 – moduł do pomiaru CO i CO₂; PMD – moduł do pomiaru O₂; HFID – moduł do pomiaru HC; HCLD – moduł do pomiaru NO_x

nych składników spalin i ich zakresów, zalecane jest stosowanie aparatury pomiarowej dla przeprowadzenia badań, w których zależy nam na wysokiej dokładności, a więc w zasadzie do pomiarów doświadczalnych i homologacyjnych [4].

Drugi z układów – analizator Testo 360 ze zintegrowanym komputerem przenośnym PC (notebook) może być wykorzystywany do pomiarów i analizy składników toksycznych spalin silników po naprawach rewizyjnych i głównych.

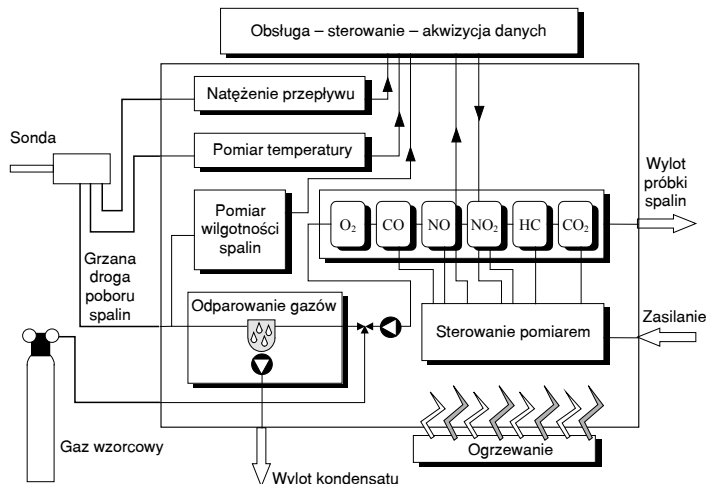
Analizator Testo 360 zawiera detektor gazu i detektor do pomiaru ciśnienia (do wyznaczania prędkości przepływu), procesor gazu z chłodnicą, system przepompowania gazu oraz zawory rewersyjne do automatycznej kalibracji przy pomocy gazu wzorcowego i automatycznego przedmuchu z sondą wielofunkcyjną.

Na analizatorze znajdują się złącza do podłączenia wszelkich sond, detektorów oraz przyłącza gazowe [4].

Ogólny widok analizatora przedstawiono na rysunku 7, a osprzęt do opracowania wyników na rysunku 8.

W skład analizatora, którego schematyczną budowę przedstawiono na rysunku 9, wchodzi następujące zespoły i urządzenia:

- analizator z modułami pomiarowymi CO, CO₂, NO, NO₂, HC, O₂;
- przenośny komputer PC;
- złącze;
- złącze szeregowo;
- zasilacz przenośny PC;
- kabel zasilający analizator;
- wąż gazu ogrzanego;
- kabel zasilania sondy wielofunkcyjnej;
- sonda spalin;
- filtr świeżego powietrza (oczyszczacz CO).



Rys. 9. Schemat budowy analizatora składników toksycznych spalin

Mobilne laboratorium badawcze

Do realizacji badań w miejscach, w których dotarcie spalinowego pojazdu trakcyjnego do stacjonarnego laboratorium badawczego nie zawsze jest możliwe lub wiązałoby się z okresowymi postojami i wyłączeniem pojazdu z pracy przewozowej, Instytut Pojazdów Szynowych „Tabor” dysponuje mobilnym laboratorium pomiarowym, zbudowanym na bazie furgonu 35.10 V firmy Iveco [4].

Widok ogólny mobilnego laboratorium przedstawiono na rysunku 10.



Rys. 7. Analizator spalin Testo 360



Rys. 10. Mobilne laboratorium badawcze



Rys. 8. Osprzęt do opracowania wyników

- 1 – komputer przenośny (notebook), 2 – minidrukarka, 3 – kabel łączący drukarkę, 4 – zasilacz drukarki, 5 – kabel zasilacza drukarki

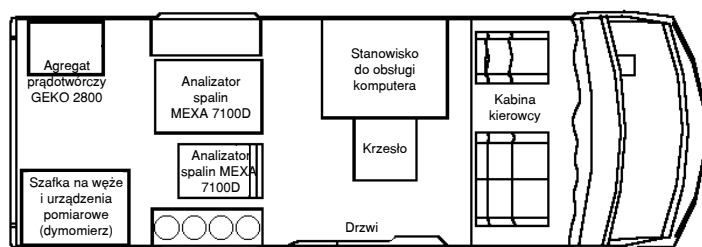
Głównym wyposażeniem laboratorium jest aparatura systemu Mexa 7100D, natomiast sprzęt pomocniczy stanowią następujące elementy:

- wyposażenie elektryczne: generator prądu do zasilania analizatorów, przewody elektryczne, przedłużacze, dodatkowe oświetlenie miejsca pracy, oświetlenie zewnętrzne;
- wyposażenie mechaniczne: skrzynki narzędziowe, szuflady z pojemnikami, „kominki” umożliwiające pomiar składników toksycznych, drabinki;
- wyposażenie biurowe: stół, fotel obrotowy, szafka na dokumenty.

Widok ogólny rozmieszczenia analizatorów przedstawiono na rysunku 11, a pełny schemat rozmieszczenia urządzeń i aparatów w mobilnym laboratorium na rysunku 12.



Rys. 11. Rozmieszczenie analizatorów w mobilnym laboratorium



Rys. 12. Schemat rozmieszczenia urządzeń i aparatur w mobilnym laboratorium

Metodyka badań (pomiarów) emisji składników toksycznych spalin

Badania emisji składników toksycznych silników spalinowych po naprawie i niezbędnych regulacjach prowadzone są w celu określenia następujących składników:

- tlenku węgla CO [ppm],
- węglowodorów HC [ppm],
- tlenków azotu NO_x [ppm],
- dwutlenku węgla CO₂ [%],

gdzie ppm – milionowa część jedności (*parts per million*), z uwzględnieniem tła pomiarowego.

Badania przeprowadza się najczęściej na oporniku służącym zazwyczaj do określania charakterystyki zespołu prądowczego według procedury obejmującej [5]:

- przygotowanie silnika spalinowego do pomiarów w zakresie:
 - stabilizacji stanu cieplnego oleju silnikowego;
 - stabilizacji stanu cieplnego cieczy chłodzącej;
 - ustalenia minimalnej prędkości obrotowej silnika, odpowiadającej początkowej pozycji nastawnika jazdy (dla obrotów biegu jałowego);
- przygotowanie aparatury pomiarowej do badań w zakresie:
 - stabilizacji temperatury urządzenia;
 - zerowania, cel urządzenia;
 - zamontowania sondy pomiarowej do poboru próbki spalin;
 - pomiar poszczególnych składników toksycznych spalin dla przyjętego testu, a w zasadzie faz testu dla przyjętych mocy i prędkości obrotowych wału korbowego silnika.

Zasady wyznaczania emisji składników toksycznych spalin

Wyznaczanie emisji składników toksycznych spalin (na podstawie pomiarowych wartości CO, HC, NO_x i CO₂ dla poszczególnych

pozycji nastawnika jazdy) najczęściej odbywa się za pomocą wyznaczania [6]:

- 1) (obliczenia) metodą homologacyjną,
- 2) z wykorzystaniem danych technicznych producenta danego silnika,
- 3) na podstawie szacowania wielkości niezbędnych do obliczeń.

W metodzie – algorytmie pierwszym, przy znanych udziałach w paliwie węgla, wodoru i siarki, wyznaczanie emisji w g/kWh odbywa się w następującej kolejności:

- oblicza się zapotrzebowanie powietrza do spalania stechiometrycznego;
- oblicza się współczynnik nadmiaru powietrza przy całkowitym spalaniu i koncentracji dwutlenku węgla;
- oblicza się stosunek wodoru do węgla;
- wyznacza się masowe natężenie przepływu powietrza suchego;
- określa się współczynnik charakteryzujący paliwo jako stosunek koncentracji mokrej spalin do koncentracji suchej;
- wyznacza się zawartość węglowodorów w suchych spalinach;
- oblicza się masę spalin;
- oblicza się masę powietrza mokrego;
- wyznacza się masowe natężenie emisji (dla spalin mokrych) poszczególnych składników spalin (tj. CO, HC, NO_x) dla każdej fazy cyklu;
- oblicza się faktyczne (średnie) wartości poszczególnych składników, tj. CO, HC i NO_x w g/kWh według normy PN-EN ISO 8178 [25] i PN-EN ISO 8178-4 [27] dla określonego cyklu (najczęściej typu F).

Dokładne i szczegółowe zasady wyznaczania emisji poszczególnych składników toksycznych wraz ze wzorami i zależnościami przedstawione są w cytowanych normach.

W metodzie drugiej – algorytm wyznaczania emisji składników toksycznych spalin sprowadza się do następujących obliczeń i określa:

- dokonuje się pomiarów rzeczywistych CO, HC, NO_x i CO₂ w spalinach dla poszczególnych pozycji nastawnika jazdy (prędkości obrotowych i mocy cząstkowych);
- wykorzystując dane producenta silnika, na podstawie prędkości obrotowej określa się natężenie przepływu powietrza (G_{pow});
- wykorzystując pomierzone stężenie dwutlenku węgla określa się współczynnik nadmiaru powietrza (λ);
- dysponując wartościami G_{pow} i λ określa się wydatek paliwa (G_e);
- oblicza się wydatek spalin (G_{sp}) jako sumę wydatku powietrza G_{pow} i paliwa G_e ;
- wyznacza się godzinową emisję poszczególnych składników toksycznych w g/h jako iloczyn wydatku spalin, stężeń (skorygowanych) składników toksycznych i współczynników dla danego składnika;
- uwzględniając pomiarowe moce dla poszczególnych pozycji nastawnika (poszczególnych faz badawczych) i współczynników udziału faz wyznacza się końcowe wartości emisji poszczególnych składników toksycznych spalin w g/kWh.

Metodę trzecią stosuje się w przypadku braku możliwości przeprowadzenia pomiarów zużycia paliwa i powietrza. Polega ona na określeniu rzeczywistej emisji składników toksycznych spalin na następującej podstawie:

- dokonuje się pomiarów rzeczywistych CO, HC, NO_x i CO₂ w spalinach dla poszczególnych prędkości obrotowych i mocy cząstkowych;
- określa się teoretyczne natężenie przepływu powietrza (G_t) na podstawie cząstkowych prędkości obrotowych silnika;
- określa się współczynnik napełnienia (η_v);
- na podstawie natężenia przepływu powietrza, współczynnika napełniania i ciśnienia dotadowania, wyznacza się rzeczywisty wydatek powietrza (G_{pow});
- określa się współczynnik nadmiaru powietrza (λ) na podstawie wyznaczonego rzeczywistego stężenia dwutlenku węgla w spalinach;
- określa się rzeczywisty wydatek paliwa (G_e), wykorzystując wyznaczony wcześniej rzeczywisty wydatek powietrza (G_{pow}) i współczynnik nadmiaru powietrza (λ);
- oblicza się wydatek spalin (G_{sp}) jako sumę wydatku paliwa (G_e) i powietrza (G_{pow});
- oblicza się godzinową emisję składników szkodliwych jako iloczyn wydatku spalin, skorygowanych stężeń składników toksycznych oraz współczynników dla danego składnika;
- wyznacza się ostateczną wielkość poszczególnych składników toksycznych spalin (w g/kWh), uwzględniając pomierzone moce dla poszczególnych faz badawczych (pozycji nastawnika) i współczynników udziału faz.

Po zakończeniu analiz dokonuje się porównania otrzymanych wyników z wartościami dopuszczalnymi ujętymi w normach, kartach UIC, czy też dyrektywach Parlamentu Europejskiego. Podobnie postępuje się również w przypadku wykorzystania innych cykli badawczych, np. C1.

Należy również zaznaczyć, że pierwsza z metod (najdokładniejsza) wykorzystywana jest przy wyznaczaniu emisji spalin podczas badań silnika na stanowisku badawczym.

W normalnej eksploatacji po przeprowadzonych naprawach i regulacjach silników spalinowych pojazdów trakcyjnych, najlepsze będzie stosowanie metody drugiej, a w wyjątkowych przypadkach z braku danych metody trzeciej.

Otrzymane wyniki obliczeń uzyskiwanych w metodzie drugiej i trzeciej będą jednak obciążone błędem nie przekraczającym $\pm 5\%$, co przy tego rodzaju badaniach (dla dopuszczenia pojazdów do ruchu) jest dopuszczalne i nie będzie budzić zastrzeżeń.

Po zakończeniu analiz pomiarowych wystawiane są karty kontrolne lub protokoły zawierające również ocenę, z podaniem ewentualnych prac regulacyjnych lub remontowych w przypadku przekroczenia przez badane silniki dopuszczalnych wartości emisji składników toksycznych. Uproszczoną kartę kontrolną do realizacji pomiarów według cyklu F przedstawiono w tablicy 10, szczegółowy protokół z badań wszystkich silników spalinowych dla wszystkich dostępnych metod przedstawiono w tabeli 11.

Przykładowe wyniki pomiarów emisji składników toksycznych spalin silników lokomotyw spalinowych

Pomiary emisji składników toksycznych spalin prowadzono w latach 2004–2006 przez Instytut Pojazdów Szynowych „Tabor” w Poznaniu dla następujących przypadków:

- dla lokomotyw liniowych i manewrowych, w których silniki były poddawane naprawom rewizyjnym i głównym;

Uproszczona forma karty kontrolnej oceny emisji toksycznych składników spalin

Piecze ć stacji	KARTA KONTROLNA emisji składników toksycznych spalin pojazdów trakcyjnych		Nr karty/.....	Data/...../.....
	Typ silnika.....		Nr silnika.....	
Typ pojazdu.....		Przebieg.....		
Typ testu.....	Warunki przeprowadzenia testu			
Emisja składników toksycznych				
		Zmierzona	Dopuszczalna	
CO.....		[g/kWh]	
HC.....		[g/kWh]	
NOx.....		[g/kWh]	
.....			
.....			
.....			
Pojazd spełnia / nie spełnia* dopuszczalne normy składników toksycznych spalin				
..... Nazwisko prowadzącego badania	 Data i podpis		

- dla lokomotyw liniowych sprowadzanych z zagranicy z silnikami remontowanymi przede wszystkim dla prywatnych operatorów zajmujących się przewozami towarowymi;
- porównawcze dla lokomotyw sprowadzanych z zagranicy w których zastosowano nowoczesne silniki spalinowe;
- porównawcze dla lokomotyw poddawanych remotoryzacji (wymianom silnika) przez krajowe zakłady produkcyjne i naprawcze.

W przypadkach uzyskiwania wyników odbiegających wyraźnie od limitów (wartości dopuszczalnych) emisji spalin, przede wszystkim dla silników naprawianych starszej generacji, pomiary po wprowadzeniu dodatkowych wymian uszkodzonych elementów (np. wtryskiwaczy) oraz przeprowadzenia dodatkowych regulacji w układzie paliwowym oraz korbowo-tłokowym były powtarzane. W dalszej części zaprezentowano wyniki (bez komentarza) badań wybranych silników spalinowych lokomotyw liniowych i manewrowych realizowanych na opornikach wodnych w Zakładzie „Tabor” w Poznaniu oraz w ZNTK Poznań, „Pesa” Bydgoszcz i Bumar-Fablok Chrzanów [7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18]. Badania realizowano według normy PN-EN ISO 8178-1 dla cyklu F, wykorzystując aparaturę badawczą „Testo 360”.

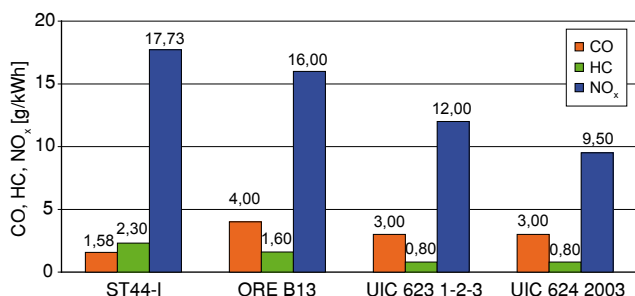
Na poszczególnych rysunkach zaprezentowano widok lokomotywy oraz uzyskane wyniki wraz z odniesieniem do obowiązujących przepisów i norm:

Szczegółowy protokół z badań emisji toksycznych składników spalin silnika spalinowego

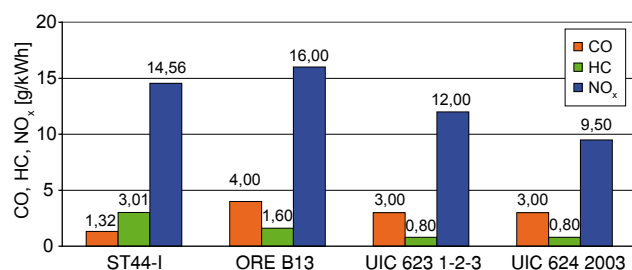
Nazwa (pieczętka) instytucji wykonującej pomiary	PROTOKÓŁ Z BADANIA (POMIARÓW) EMISJI (STĘŻENIA) SKŁADNIKÓW TOKSYCZNYCH SPALIN SILNIKA SPALINOWEGO POJAZDU TRAKCYJNEGO	Data wykonania pomiarów Dzień/Miesiąc/Rok							
I. Dane pojazdu i silnika: 1. Typ i rodzaj pojazdu 2. Rok produkcji pojazdu 3. Typ i moc silnika 4. Rok produkcji silnika 5. Przebieg pojazdu (km) 6. Czas pracy silnika (motogodziny) II. Warunki pomiaru: 1. Rodzaj testu: ISO 8178F; ISO 8178C1; ORE B13; ECE R-49; ESC; ELR; ETC * 2. Aparatura pomiarowa: rodzaj (typ) rok produkcji (legalizacji) 3. Warunki atmosferyczne, godzina pomiarów: temperatura zewnętrzna °C ciśnienie atmosferyczne hPa godzina pomiarów III. Parametry mierzone: przed naprawą i regulacją silnika Parametry napięciowo-prądowe									
Poz. nastawnika	Prędkość obrotowa [obr/min]	Obciążenie prądnicy głównej							
		Natężenie prądu [A]	Napięcie prądu [V]	Moc [kW]					
0									
0									
Wyniki badań emisji składników toksycznych									
Poz. nastawnika	Wartości emisji i zaczerwienia [ppm]								
	CO	HC	NO_x+HC	NO_x	NMHC	CH₄	CO₂ [%]	PM	Zaczerwienie
0									
0									
po naprawie i regulacjach silnika Parametry napięciowo-prądowe									
Poz. nastawnika	Prędkość obrotowa [obr/min]	Obciążenie prądnicy głównej	Natężenie prądu [A]	Napięcie prądu [V]	Moc [kW]				
0									
0									
Wyniki badań emisji składników toksycznych									
Poz. nastawnika	Wartości emisji i zaczerwienia [ppm]								
	CO	HC	NO_x+HC	NO_x	NMHC	CH₄	CO₂ [%]	PM	Zaczerwienie
0									
0									
Uwaga: Dla pojazdów z inną przekładnią niż elektryczną wypełnić poz. nast., prędkość i moc. IV. Wyniki pomiarów: CO (tlenek węgla)g/kWh HC (węglowodory)g/kWh NOx (tlenki azotu)g/kWh NOx + HC (tlenki azotu i węglowodory) g/kWh NMHC (węglowodory bez metanu) g/kWh CH4 (metan) g/kWh CO2 (dwutlenek węgla) % PM (cząstki stałe) g/kWh Zaczerwienie m ⁻¹									



Rys. 16. Lokomotywa ST44



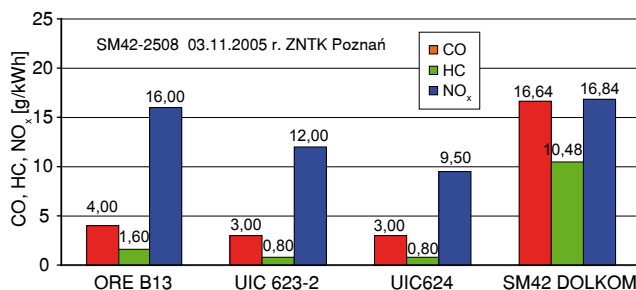
Rys. 17. Wyniki badań emisji spalin dla silnika spalinowego 14D40 lokomotywy ST44 przed naprawą główną



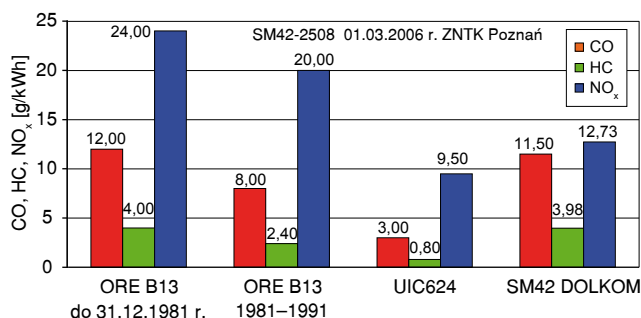
Rys. 18. Wyniki badań emisji spalin dla silnika spalinowego 14D40 lokomotywy ST44 po naprawie głównej



Rys. 19. Lokomotywa SM42



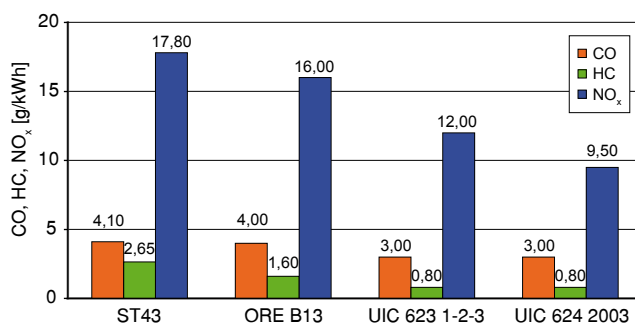
Rys. 20. Wyniki badań emisji spalin dla silnika spalinowego a8C22 lokomotywy SM42 przed naprawą i regulacją



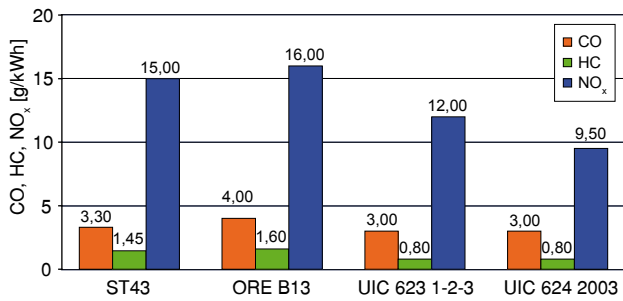
Rys. 21. Wyniki badań emisji spalin dla silnika spalinowego a8C22 lokomotywy SM42 po naprawie i regulacji



Rys. 22. Lokomotywa ST43 (060Da)



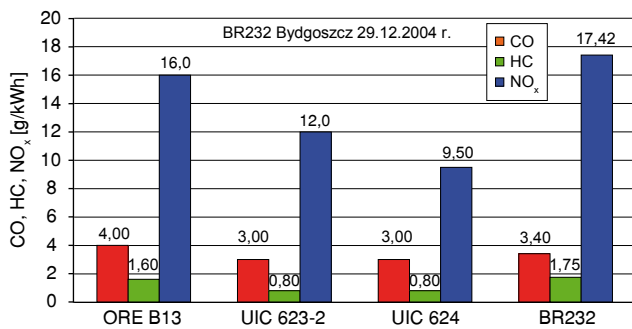
Rys. 23. Wyniki badań emisji spalin dla silnika spalinowego 12LDA28 lokomotywy ST43 (060Da) przed naprawą



Rys. 24. Wyniki badań emisji spalin dla silnika spalinowego 12LDA28 lokomotywy ST43 (060Da) po naprawie



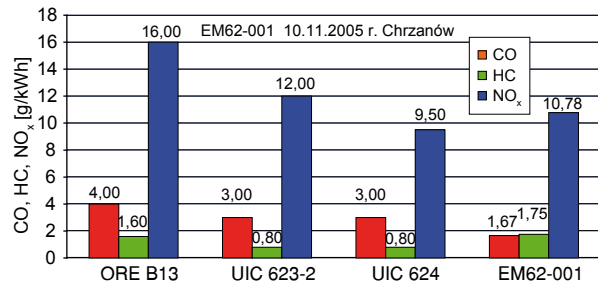
Rys. 25 Lokomotywa BR232 z silnikiem 5D49



Rys. 26. Wyniki badań emisji spalin dla silnika spalinowego 5D49 lokomotywy BR231 po naprawie głównej i modernizacji



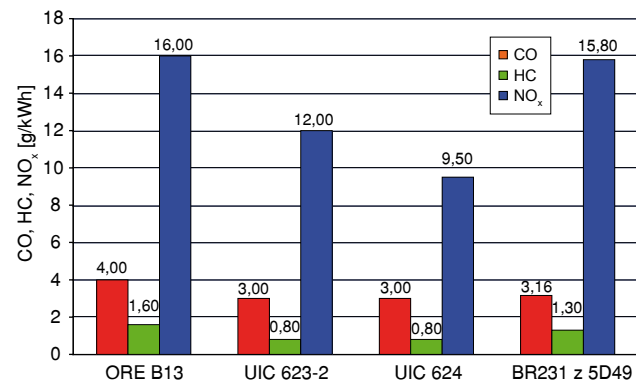
Rys. 27. Lokomotywa M62 z silnikiem 645E3B



Rys. 28. Wyniki badań emisji spalin dla silnika spalinowego 645E3B lokomotywy EM62 po naprawie głównej i modernizacji



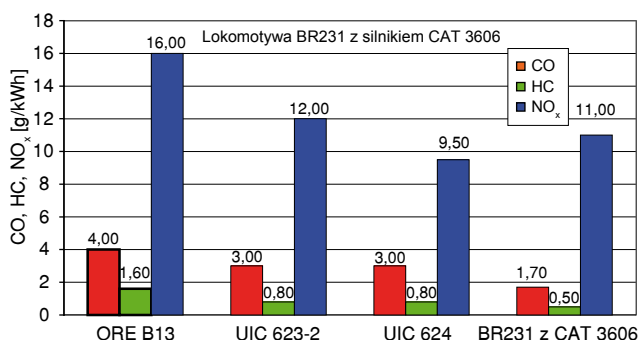
Rys. 29. Lokomotywa BR231 z silnikiem 5D49



Rys. 30. Wyniki badań emisji spalin dla silnika spalinowego 5D49 lokomotywy BR231 po naprawie głównej i modernizacji układu sterowania



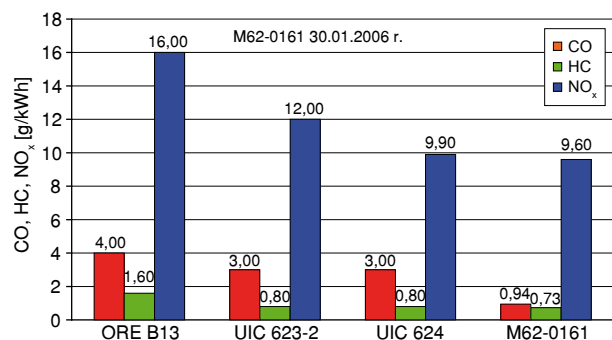
Rys. 31. Lokomotywa BR231 z silnikiem CAT 3606



Rys. 32. Wyniki badań emisji spalin dla silnika spalinowego CAT 3606 lokomotywy BR231 po naprawie głównej i modernizacji



Rys. 33. Lokomotywa M62 z silnikiem 12CzN26/26



Rys. 34. Wyniki badań emisji spalin dla silnika spalinowego 12CzN26/26 lokomotywy M62 po modernizacji

U nas problem ten będzie również związany ze sprowadzaniem przez prywatnych operatorów z zagranicy coraz większej liczby lokomotyw liniowych i spalinowych zespołów trakcyjnych (w tym autobusów szynowych), których silniki spalinowe w większości nie spełniają dzisiejszych wymagań w zakresie emisji do atmosfery składników toksycznych występujących w spalinach.

Docelowo należałoby dążyć do wymiany przestarzałych silników (zwłaszcza dwusuwowych) na silniki nowoczesne czterosuwowe o minimalnym oddziaływaniu na środowisko naturalne, a więc spełniające coraz ostrzejsze wymagania, przepisy i normy regulujące emisję składników toksycznych.

Niemniej jednak do osiągnięcia zmniejszenia emisji składników toksycznych dla silników starszej generacji (starszych wiekiem) sugeruje się podczas prowadzonych napraw rewizyjnych i głównych oraz podczas remontów awaryjnych przeprowadzenie następujących prac regulacyjnych i sprawdzających oraz wymianę zużytych części i elementów [5]:

- dla zmniejszenia emisji tlenków azotu (NO_x):
 - niewielkie opóźnienie kąta początku wtrysku paliwa,
 - niepodnoszenie ciśnienia początku wtrysku powyżej norm regulacyjnych,
 - prawidłową regulację ciśnienia doładowania;
- dla zmniejszenia emisji tlenku węgla (CO):
 - wymianę i regulację wtryskiwaczy,
 - utrzymanie współczynnika nadmiaru powietrza (przez ustalenie właściwego ciśnienia doładowania) na prawidłowym poziomie w warunkach mocy maksymalnej;
- dla zmniejszenia emisji węglowodorów (HC):
 - sprawdzenie i regulację rozpylaczy wtryskiwaczy lub całych kompletów wtryskiwaczy,
 - konieczność sprawdzenia ciśnienia sprężania (indykowanie silnika) w celu ewentualnej wymiany zestawów tłok – pierścienie tłokowe;
- dla zmniejszenia emisji cząstek stałych:
 - prawidłową regulację układu recyrkulacji spalin,
 - wyposażenie silnika w układy oczyszczania spalin.

Ponadto rozwiązaniami przejściowymi (doraźnymi) powodującymi zmniejszenie uciążliwości dla środowiska lokomotyw spalinowych mogą być:

- zainstalowanie pozasilnikowych układów oczyszczania spalin w postaci utleniającego reaktora katalitycznego w celu zmniejszenia emisji tlenku węgla i węglowodorów, np. dwu- lub jednowęściowych katalizatorów płaskich i okrągłych z tłumikami lub katalizatorów beztłumikowych;
- zainstalowanie filtrów cząstek stałych w celu zmniejszenia emisji cząstek stałych;
- zainstalowanie zamiennie z filtrami cząstek stałych filtrów sadzowych (sadza to składnik emisji zawierający również niespalony olej silnikowy i inne części stałe).

Ponadto naprawiane silniki spalinowe pojazdów trakcyjnych – zarówno podczas naprawy rewizyjnej, jak i głównej – powinny być każdorazowo poddawane badaniom (np. na oporniku) emisji składników toksycznych.

Z każdego przeprowadzonego badania należy sporządzić protokół z oceną, który powinien być podstawą do 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

badan i jedne limity emisji spalin, tak jak ma to miejsce np. w Stanach Zjednoczonych i Japonii.



Literatura

- [1] Merksiz J., Pielecha I.: *Przepisy toksyczności spalin pojazdów szynowych*. Pojazdy Szynowe 3/2001.
- [2] Marciniak Z., Merksiz J., Pielecha I., Pielecha J.: *Badania emisji składników toksycznych spalin silników spalinowych zastosowanych w krajowych pojazdach trakcyjnych*. Konferencja Pojazdy Szynowe na przelomie wieków, Artamów 2000.
- [3] Marciniak Z., Merksiz J., Pielecha I., Pielecha J.: *Nowoczesne rozwiązania spalinowych silników trakcyjnych – możliwości modernizacji silników spalinowych lokomotyw*. Pojazdy Szynowe 1/2003.
- [4] Marciniak Z., Merksiz J., Pielecha I., Pielecha J.: *Mobilne stanowisko do badań emisji składników toksycznych spalin silników spalinowych*. Pojazdy Szynowe 3/2002.
- [5] Marciniak Z., Pielecha I.: *Możliwości poprawy parametrów ekologicznych silników dla naprawianych i modernizowanych lokomotyw spalinowych*. Pojazdy Szynowe 2/2004.
- [6] Marciniak Z., Pielecha I.: *Badania silników lokomotyw spalinowych w świetle dopuszczeń do eksploatacji na polskich liniach kolejowych*. Pojazdy Szynowe 3/2006.
- [7] Marciniak Z., Pielecha I.: *Sprawozdanie z badań emisji składników toksycznych spalin lokomotywy spalinowych SU46-032 i SU46-037*. SB-2229. Praca IPS „Tabor” Poznań, 2003.
- [8] Marciniak Z., Pielecha I.: *Sprawozdanie z badań emisji składników toksycznych spalin silnika lokomotywy spalinowej BR120-008*. SB-2233. Praca IPS „Tabor” Poznań, 2003.
- [9] Marciniak Z., Pielecha I.: *Sprawozdanie z badania lokomotywy BR120 (ST44) w zakresie emisji składników toksycznych do atmosfery*. SB-2237. Praca IPS „Tabor” Poznań, 2004.
- [10] Marciniak Z., Pielecha I.: *Sprawozdanie z badań emisji składników toksycznych spalin silnika lokomotywy spalinowej LDE 2100 (ST43)*. SB-2244. Praca IPS „Tabor” Poznań, 2004.
- [11] 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.
- [12] Marciniak Z., Pielecha I.: *Sprawozdanie z badania emisji składników toksycznych spalin silnika 5D49 lokomotywy spalinowej BR232*. Opracowanie SB-2259. Praca IPS „Tabor”. Poznań 2005.
- [13] Marciniak Z., Pielecha I.: *Sprawozdanie z badania emisji składników toksycznych spalin silnika lokomotywy spalinowej EM62-001*. Opracowanie SB-2278. Praca IPS „Tabor”. Poznań 2005.
- [14] Marciniak Z., Pielecha I.: *Sprawozdanie z badania emisji składników toksycznych spalin silnika lokomotywy spalinowej M62-0161*. Opracowanie SB-2284. Praca IPS „Tabor”. Poznań 2006.
- [15] Marciniak Z., Pielecha I.: *Sprawozdanie z badania emisji składników toksycznych spalin silników 5D49 i CAT 3606 lokomotyw spalinowych BR231/BR232*. Opracowanie SB-2285. Praca IPS „Tabor”. Poznań 2006.
- [16] Marciniak Z., Pielecha I.: *Sprawozdanie z badań emisji spalin silnika lokomotywy SM42-2178 na oporniku wodnym w ZNTK Poznań*. Opracowanie SB-2300. Praca IPS „Tabor”. Poznań 2006.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] Pielecha I., Pielecha J.: *Tendencje w przepisach dotyczących emisji związków toksycznych przez silniki spalinowe pojazdów szynowych*. Pojazdy Szynowe 1/2005.
- [20] Raczynski J.: *Ograniczanie emisji spalin z silników kolejowych w prawie unijnym*. Technika Transportu Szynowego 7-8/2004.
- [21] Karta UIC 624. *Badanie emisji gazów wydechowych silników spalinowych trakcyjnych*. Wyd. 2 z kwietnia 2003.
- [22] Directive 97/68/EC of the European Parliament and of the Council z 16.12.1997. Wydane 27.02.1998.
- [23] Directive 2004/26/EC of the European Parliament and of the Council z 21.04.2004.
- [24] Raport ORE B13 Rp. 22. *Dopuszczenie do eksploatacji oraz utrzymanie silników spalinowych. Graniczne wartości emisji składników toksycznych spalin silników spalinowych*. Utrecht, kwiecień 1978 r.
- [25] 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.
- [26] Norma PN-EN ISO 8178-4. *Silniki spalinowe tłokowe. Pomiar emisji spalin. Cykle badawcze silników o różnym zastosowaniu*. Wyd. styczeń 1999.
- [27] Karta UIC 623-2. *Badania homologacyjne silników spalinowych pojazdów napędowych*. Wyd. 3 z kwietnia 2005.

Autorzy

dr inż. Zygmunt Marciniak

dr inż. Ireneusz Pielacha

Instytut Pojazdów Szynowych „Tabor” Poznań