

dr inż. Zygmunt Marciniak  
prof. dr hab. inż. Jerzy Merkiś  
dr inż. Ireneusz Pielecha  
dr inż. Jacek Pielecha  
Instytut Pojazdów Szynowych „TABOR”

## Mobilne stanowisko do badań emisji składników toksycznych spalin silników spalinowych

W kraju eksploatowanych jest wiele spalinowych pojazdów trakcyjnych, których silniki nie spełniają wymagań i kryteriów toksyczności spalin. W Instytucie Pojazdów Szynowych „Tabor” Poznań powstało mobilne stanowisko umożliwiające przeprowadzenie testów silników spalinowych różnego typu pojazdów trakcyjnych. W referacie przedstawiono mobilne stanowisko badawcze, jego możliwości pomiarowe oraz procedurę prowadzenia pomiarów i oceny wyników. Zaprezentowano wyniki pomiarów toksyczności spalin badanych silników lokomotyw po naprawach w zakładach naprawczych.

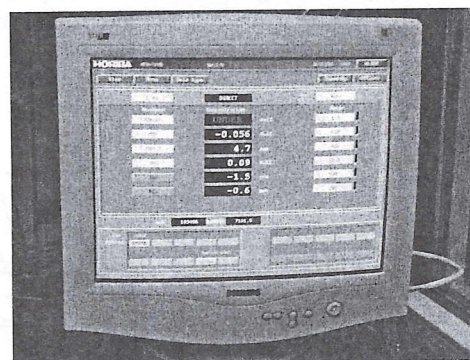
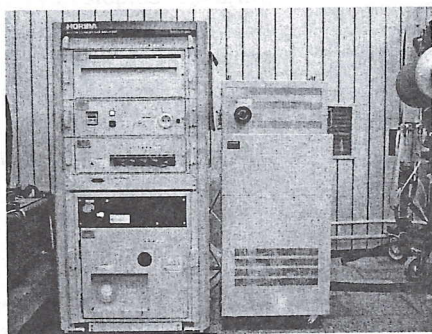
### 1. WSTĘP

Zagadnienia związane z badaniami szkodliwego oddziaływania na środowisko naturalne silników spalinowych eksploatowanych w szynowych pojazdach trakcyjnych, nie są do końca rozwiązane. W kraju eksploatowanych jest wiele rodzajów spalinowych pojazdów trakcyjnych, których silniki nie spełniają wymagań i kryteriów toksyczności spalin. Zadaniem laboratorium jest umożliwienie wykonywania testów badawczych i wydawanie świadectw z przeprowadzonych badań silników spalinowych pojazdów trakcyjnych, których dotarcie do stacjonarnego laboratorium badawczego nie zawsze jest możliwe lub wiązałoby się z okresowymi postojami i wyłączeniem pojazdów z pracy przewozowej.

### 2. STANOWISKO BADAWCZE

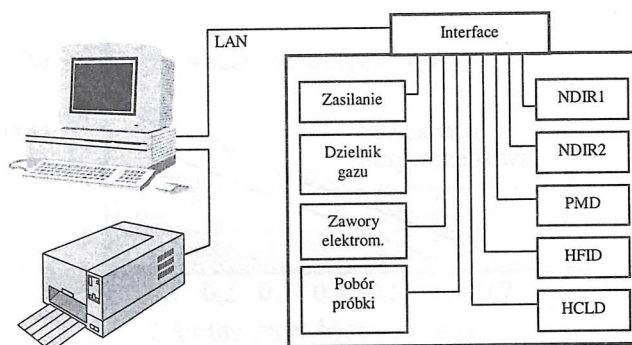
#### 2.1. Aparatura pomiarowa

Do wyznaczenia stężeń gazowych składników toksycznych spalin w mobilnym laboratorium badawczym wykorzystano system pomiarowy firmy Horiba Mexa 7100D (rys. 1).



Rys. 1. Aparatura badawcza i widok ekranu kontrolnego systemu Horiba Mexa 7100D

System zbudowany jest z kilku modułów (rys. 2), z których każdy spełnia odmienną rolę. W skład systemu wchodzi: moduł analizatorów (NDIR1 – do pomiaru CO(L), NDIR2 – do pomiaru CO(H) i CO<sub>2</sub>, PMD – do pomiaru O<sub>2</sub>, HFID – do pomiaru HC oraz HCLD – do pomiaru NO<sub>x</sub>), jednostka zasilająca, system poboru próbek, system zaworów elektromagnetycznych, jednostka kontrolna.



Rys. 2. Schemat połączeń modułów i analizatorów w systemie MEXA 7100D [7]

Do prawidłowej pracy analizatorów niezbędne jest wykorzystanie gazów eksploatacyjnych i kalibracyjnych. Gazy eksploatacyjne to:

$N_2$  – gaz nośny dla analizatora tlenu oraz gaz odniesienia (zero) dla wszystkich analizatorów;

$O_2$  – źródło ozonu dla analizatora  $NO/NO_x$ ;

Czyste powietrze – dopalacz gazu w analizatorze węglowodorowym;

$H_2/He$  – paliwo dla analizatora węglowodorowego.

Gazy kalibracyjne o odpowiednich stężeniach dobierane są do mierzonych składników i ich zakresów.

## 2.2. Specyfikacja analizatorów

Analizatory, wykorzystywane przez system MEXA 7100D, dokonują pomiarów składników toksycznych spalin metodami homologacyjnymi, a ich zakresy dobrane są odpowiednio do stężeń związków toksycznych zawartych w spalinach pojazdów trakcyjnych (tab. 1).

Tabela 1. Specyfikacje analizatorów spalin systemu MEXA 7100D [7]

Pomiar	Analizator (typ)	Zakres pomiarowy
CO(L)	AIA-721 (NDIR)	50 do 5000 ppm
CO(H) /CO <sub>2</sub>	AIA-722 (NDIR)	CO 5000 ppm do 10% obj. CO <sub>2</sub> 5000 ppm do 20% obj.
NO/NO <sub>x</sub>	CLA-755A podciśnieniowy (HCLD)	10 do 10000 ppm
HC	FIA-725A gorący (HFID)	10 do 50000 ppmC
O <sub>2</sub>	MPA-720 (PMD)	1 do 25% obj.

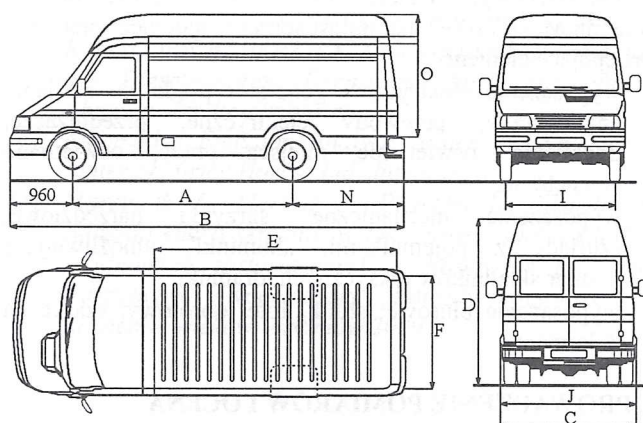
Analizatory do pomiaru CO, CO<sub>2</sub> wykorzystują jedną z metod spektrometrycznych, polegającą na pomiarze fotometrem całkowitej absorpcji promieniowania w dość wąskim paśmie długości fal (typu NDIR – niedyspersyjne, na podczerwień), charakterystycznych dla CO i CO<sub>2</sub>. Analizator chemiluminescencyjny do pomiaru tlenu azotu (HCLD) wykorzystuje zjawisko emisji promieniowania elektromagnetycznego o długości fali 0,6-3mm, towarzyszące reakcji tlenu azotu NO z ozonem O<sub>3</sub>. Analizatory do pomiaru węglowodorów (HFID) działają na zasadzie jonizacji płomienia wodorowo-tlenowego przez wprowadzenie do niego cząstek węglowodorów. Jonizacja płomienia jest proporcjonalna do liczby atomów węgla wprowadzonych w jednostce czasu. Analizator HFID bywa popularnie określany jako licznik atomów węgla (stosuje się oznaczenia stężenia ppmC), przy czym związki węgla z tlenem nie powodują jonizacji (CO i CO<sub>2</sub> nie zakłóca pomiaru). Do wyznaczenia sumarycznej zawartości wszystkich węglowodorów znajdujących się w spalinach (zwłaszcza w silniku ZS) należy stosować analizatory o grzanej drodze gazowej (tzw. HFID) o temperaturze 190°C. Grzane powinny być wszystkie wewnętrzne przewody oraz zawory analizatora, a także cały przewód doprowadzający spaliny z silnika. Analizator paramagnetyczny PMD służy do oznaczania zawartości stężenia tlenu w spalinach, wykorzystując właściwości paramagnetyczne tlenu.

## 2.2. Opis pojazdu i wyposażenia

Spośród wielu pojazdów, które pierwotnie miały stanowić środek transportu mobilnego laboratorium [4] wytypowano furgon 35.10V firmy Iveco (tab. 2 – w nawiasach podano wymiary dla furgonu z wysokim dachem). Widok ogólny samochodu, schemat rozmieszczenia urządzeń i widok aparatury pomiarowej przedstawiono na rysunkach 3-6.

Tabela 2. Specyfikacja furgonu Iveco 35.10 V

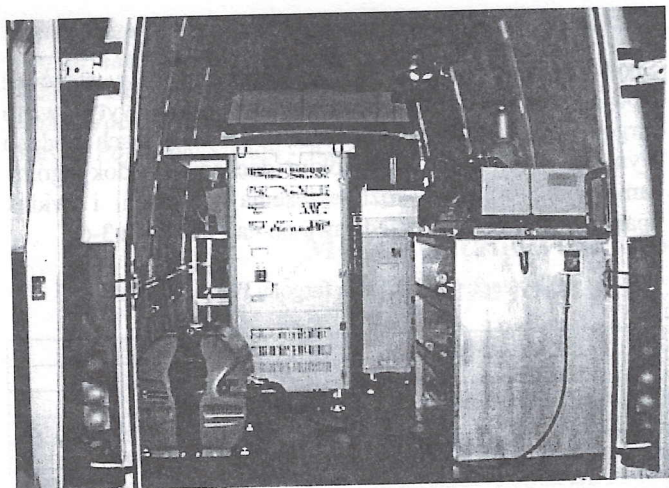
Lp.	Wielkość	Wartość
1.	Ładowność	1260 kg
2.	Masa całkowita pojazdu	3500 kg
3.	Typ silnika	8140.23 – ZS, doładowany, DI
4.	Pojemność skokowa silnika	2800 cm <sup>3</sup>
5.	Moc znamionowa	76 kW przy 3600 obr/min
6.	Moment maksymalny	240 Nm przy 1900 obr/min
8.	Prędkość maksymalna pojazdu	ok. 94 km/h
10.	Rozstaw osi (A)	3300 (3950) mm
11.	Długość maksymalna (B)	6000 (6890) mm
12.	Szerokość maksymalna (C)	2000 (2000) mm
13.	Wysokość maksymalna (D)	2830 (2855) mm
14.	Rozstaw kół przednich (I)	1695 (1695) mm
15.	Rozstaw kół tylnych (J)	1540 (1540) mm
16.	Zwis tylny (N)	1740 (1980) mm
17.	Długość wewnętrzna skrzyni ładunkowej (E)	3640 (4530) mm
18.	Szerokość wewnętrzna skrzyni ładunkowej (F)	1820 (1820) mm
19.	Wysokość wewnętrzna skrzyni ładunkowej (O)	1880 (1930) mm



Rys. 3. Widok ogólny furgonu 35.10 V firmy Iveco



Rys. 4. Mobilne laboratorium badawcze



Rys. 5. Rozmieszczenie analizatorów w mobilnym laboratorium



Rys. 6. Schemat rozmieszczenia urządzeń w pojeździe

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.

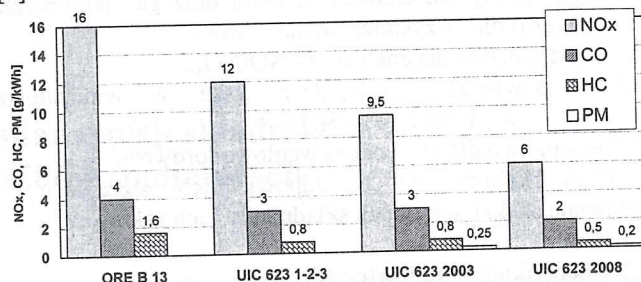
### 3. PROWADZENIE POMIARÓW I OCENA WYNIKÓW

Badania zostały przeprowadzone według procedury, którą stanowiło:

- przygotowanie silnika do pomiarów toksyczności spalin:
  - stabilizacja stanu cieplnego oleju silnikowego,
  - stabilizacja stanu cieplnego cieczy chłodzącej,
- przygotowanie aparatury pomiarowej do badań:
  - stabilizacja temperatury urządzenia,
  - kalibracja cel pomiarowych,
  - zamontowanie sondy pomiarowej do poboru próbek spalin.
- pomiar składników toksycznych spalin według określonego testu.

W Europie obowiązują dwa główne przepisy dla oceny silników spalinowych pojazdów szynowych w aspekcie emisji związków toksycznych [5]. Pierwszy z nich został zawarty w karcie UIC 623 1-2-3 [2], a dopuszczalne wartości

emisji (rys. 7) zostały ustalone w 1997 r. i mają zastosowanie dla nowo produkowanych silników z zapłonem samoczynnym trakcji kolejowej – cykl F według ISO 8178 [3].



Rys. 7. Dopuszczalne limity emisji składników toksycznych dla pojazdów szynowych [1]

Drugim obowiązującym przepisem jest Raport ORE B13, w którym określony został dwudziestodwufazowy test badawczy, przy czym w obliczeniach i analizach emisji należy uwzględnić tylko cztery punkty pomiarowe [6]. Przebiegi powyższych testów oraz limity emisji poszczególnych składników toksycznych spalin dla pojazdów szynowych zostały zebrane i przedstawione w [4].

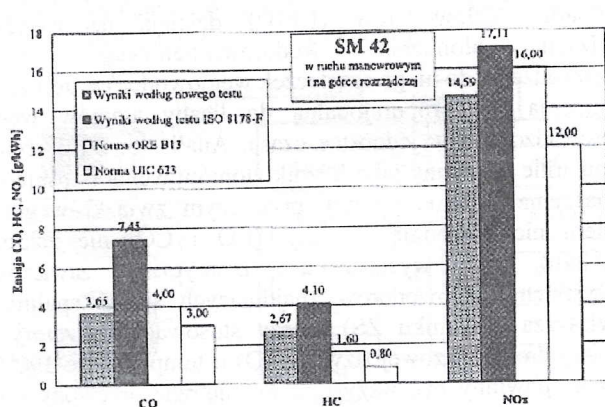
### 4. WYNIKI BADAŃ EMISJI

Badania lokomotyw spalinowych pod względem emisji składników toksycznych spalin zostały przeprowadzone w Zakładach Naprawczych Lokomotyw Spalinowych w Pile. Były one prowadzone dla lokomotyw po naprawach na opornikach symulujących ich poszczególne stany obciążeń (pozycje nastawnika jazdy).

Podczas badań mierzone były następujące składniki spalin:

- węglowodory – HC [ppm],
- tlenek węgla – CO [ppm],
- tlenki azotu – NO<sub>x</sub> [ppm].

Badania przeprowadzono uwzględniając specyfikę pracy poszczególnych lokomotyw. W tym celu stosowano dwa testy badawcze: nowy test opracowany przez autorów (będący wynikiem projektu badawczego [4] oraz według testu ISO 8178-F [3]. Wyniki badań odniesiono do wartości norm składników toksycznych według UIC 623 oraz ORE B13. Przykładowe wyniki prezentuje rysunek 8.



Rys. 8. Wyniki pomiarów składników toksycznych emitowanych przez silnik spalinowy lokomotywy SM 42 pracującej w ruchu manewrowym i na górcie rozrządowej

Końcowym efektem prac kontrolno-pomiarowych emisji składników toksycznych jest „Karta kontrolna”, która zawiera podstawowe dane dotyczące emisyjności badanego pojazdu (rys. 9).

Pieczęć stacji	<b>KARTA KONTROLNA</b> emisji składników toksycznych spalin pojazdów trakcyjnych	Nr karty ...../.....	Data ...../...../.....
Typ silnika.....		Nr silnika.....	
Typ pojazdu.....		Przebieg.....	
Typ testu.....	Warunki przeprowadzenia testu .....		
<b>Emisja składników toksycznych</b>			
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	

Rys. 9. Widok karty kontrolnej do oceny emisji składników toksycznych

## 5. ZAKOŃCZENIE

W wyniku prowadzonych prób i badań przedstawiono następujące spostrzeżenia i wnioski:

1. celowe jest przeprowadzanie badań kontrolnych emisji składników toksycznych spalin, co wymusza stosowanie pełnego trybu docierania silników spalinowych poddanych naprawie głównej,
2. pomiar emisji składników toksycznych możliwy jest tylko w specjalizowanych zakładach posiadających oporniki wodne,
3. poziom emisji składników toksycznych badanych silników wskazuje na konieczność dalszych prac modernizacyjnych, mających na celu ograniczenie szkodliwej emisji z eksploatowanych w kraju spalinowych pojazdów trakcyjnych, przez zastosowanie np. reaktorów katalitycznych utleniających i filtrów cząstek stałych,
4. mobilne laboratorium toksyczności pozwala na pomiary emisji przed i po naprawie silnika, jednak bardzo dużą ilość informacji mogą zawierać wyniki pomiarów dokonywane bezpośrednio podczas regulacji i odpowiednich nastaw parametrów eksploatacyjnych zespołów silnika.

Dalsze etapy prac badawczych mogą dotyczyć:

1. możliwości zmian parametrów konstrukcyjnych silników spalinowych z uwzględnieniem zagadnień ekologicznych,
2. rozszerzenia oferty badawczej mobilnego laboratorium (badania stacjonarne, trakcyjne, ekspertyzy, opinie, badanie stanu technicznego oraz zużycia elementów silnika na podstawie jego emisyjności),
3. zastosowania wybranych metod systemu diagnostyki pokładowej do oceny procesu spalania, a tym samym do zmniejszenia niekorzystnego wpływu na środowisko spalinowych układów napędowych.

## 6. LITERATURA

- [1] AVL Consulting and Information: Current and Future Exhaust Emissions Legislation. AVL List GmbH, Graz 03.2002.
- [2] Environmental benefits of proposed emission standards for locomotives. EPA 420-F-97-009. February 1997.
- [3] ISO: Reciprocating internal combustion engines – Exhaust emission measurement. Draft International Standard ISO/DIS 8178-1.2, 1995.
- [4] Merkiś J., Marciniak Z., Pielecha I., Pielecha J.: Stworzenie podstaw kwalifikacji badań i interpretacji wyników w oparciu o mobilne laboratorium ekologicznej oceny spalinowych pojazdów szynowych. Projekt badawczy nr 9T12C01815. Poznań 1998-2000.
- [5] Merkiś J., Pielecha I.: Przepisy toksyczności spalin pojazdów szynowych. Pojazdy Szynowe nr 3, 2001.
- [6] Raport ORE B13/RP22/D: Zullassung und Unterhaltung der Dieselmotoren. Grenzwerte für Schadstoffe in Abgasen von dieselmotoren.
- [7] Automotive Emission Analysis System MEXA 7100D. Materiały firmy Horiba Ltd, Japan 2001.
- [8] Marciniak Z., Merkiś J., Pielecha I., Pielecha J.: Badania emisji składników toksycznych spalin silników spalinowych zastosowanych w krajowych pojazdach trakcyjnych. Konferencja Pojazdy Szynowe na przełomie wieków, Arłamów 2000.