

Aleksander Mazanek

Institut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy

Przegląd metod badań silnikowych i eksploatacyjnych z uwzględnieniem aktualnie obowiązujących i przyszłych wymagań jakościowych stawianych paliwom silnikowym

Prezentowany materiał zawiera informację na temat rozwoju nowych przepisów dotyczących emisji toksycznych składników spalin z pojazdów samochodowych oraz wymagań w zakresie potencjału aparaturowego i metod badawczych. Rozwój uregulowań prawnych odnoszących się do emisji związków szkodliwych spalin wymusza dokonanie zmian nie tylko w obszarze konstrukcji i regulacji silników spalinowych, ale także w wyposażeniu badawczym i aparaturze pomiarowej stosowanych w laboratoriach prowadzących badania rozwojowe samochodów i silników.

Słowa kluczowe: badania silnikowe, badania eksploatacyjne, emisja spalin, badania rozwojowe.

An overview of engine and exploitation research methods taking into account the current and future quality requirements on motor fuels

The presented material includes information about the development of the new legislation on toxic exhaust emissions from motor vehicles and the requirements in terms of the potential of an apparatus and research methods. The development of legislation relating to emissions of harmful exhaust gases forces changes to be made not only in the construction and regulation of internal combustion engines, but also in research equipment and instrumentation used in laboratories engaged in research and development of cars and engines.

Key words: engine research, motor performance tests, exhaust emissions, research and development.

Wstęp

W ostatnich latach kilka jednostek naukowych i organizacji międzynarodowych przedstawiło w swoich publikacjach przewidywane światowe zapotrzebowanie na energię. Zgodnie z tymi danymi w latach 2005–2030 wzrośnie ono o około 50÷60%. Paliwa kopalne pozostaną głównym źródłem energii dla transportu, jednakże mogą wystąpić w tym czasie problemy z dostatecznymi zapasami ropy naftowej.

Zmniejszenie zanieczyszczenia środowiska naturalnego powodowanego przez motoryzację jest zagadnieniem rozwiązywanym przy ścisłej współpracy specjalistów z różnych gałęzi przemysłu. Znaczący udział ma tu przemysł naftowy

(rafineryjno-naftowy), który w istotny sposób wpływa na oczekiwane przez użytkowników spełnienie wielu wymagań dotyczących między innymi zmniejszenia zużycia paliwa, poprawy parametrów roboczych pojazdów i kosztów użytkowania oraz zmniejszenia emisji toksycznych składników spalin.

Pomimo wielu wyzwań dotyczących konieczności dalszego ograniczania emisji związków szkodliwych składników spalin, w tym CO₂, silniki spalinowe pozostaną jeszcze przez wiele dziesięcioleci najważniejszym źródłem napędu stosowanym w transporcie drogowym, a ich rozwój będzie wymagał kolejnych rozwiązań konstrukcyjnych i nowoczesnych badań.

W związku ze wzrastającą liczbą ludności i stale zwiększającym się zapotrzebowaniem na środki transportu coraz większym problemem w skali światowej stają się zanieczyszczenie powietrza szkodliwymi składnikami spalin z silników i konieczność zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych. Wyczerpywanie się zasobów paliw kopalnych oraz obniżenie antropogenicznej emisji CO₂ wiążą się ze zmniejszeniem udziału paliw alternatywnych (biodiesel, mieszanki etanolu z benzyną, CNG i LPG) w wielu krajach Europy i świata. Głównymi czynnikami, które wpływają na indywidualny transport przyszłości są [8, 9, 10, 17, 18]:

- zmiany klimatyczne, jako największe wyzwanie środowiskowe; zdecydowane działanie dotyczące udziału sektora transportowego w procesie zmniejszenia emisji

gazów cieplarnianych; ogólnosiwiatowe ustawodawstwo dotyczące zmniejszenia emisji CO₂ przez samochody osobowe i ciężarowe;

- rozwój regulacji prawnych dotyczących emisji związków szkodliwych spalin, zgodnie z wymaganiami przepisów europejskich, amerykańskich i azjatyckich; zmiany limitów emisji, które są bodźcem innowacyjności (np.: Euro 5+, 6, 7, US Tier 2 i 3, LEV 2 i 3, Japan 2009 Long Term Regulation, nowe wytyczne dla pojazdów zasilanych wodorem itd.);
- globalna konsumpcja energii – szansa rozwoju motoryzacji;
- rozwój silników pod kątem zastosowania nowych typów paliw; strategia alternatywnych źródeł paliw i ich mieszanin z paliwami konwencjonalnymi.

Nowe przepisy dotyczące emisji zanieczyszczeń z pojazdów samochodowych

Coraz bardziej wymagające normy emisji toksycznych składników spalin zmuszają do dokonania zmian nie tylko w obszarze konstrukcji i regulacji silników spalinowych, ale także w wyposażeniu badawczym i aparaturze pomiarowej stosowanych w laboratoriach prowadzących badania rozwojowe samochodów i silników. W Unii Europejskiej, USA i Japonii przepisami prawnymi objęte są nie tylko limity emisji, ale również metody badań emisji związków szkodliwych spalin i wyposażenie laboratorium pomiarowego.

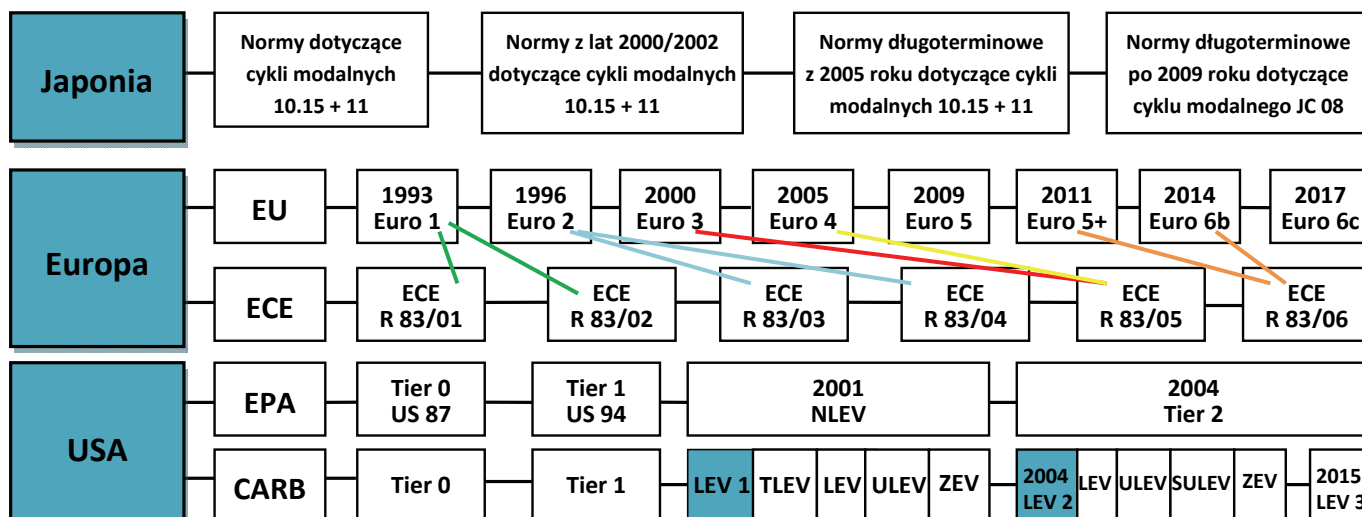
Powyższe czynniki ukierunkowują badania i działania rozwojowe na pracę nad nowymi pojazdami o niskiej emisji, stosowanie paliw alternatywnych, wprowadzanie bardziej ekologicznych typów silników, a także zwiększanie spraw-

ności tych już istniejących. Wynika z tego, że jeszcze nigdy testy emisji, w których wykonywane są: pomiar masowy i zliczanie cząstek stałych, pomiar masy wytworzonego CO₂, zużycia paliwa, a także badania sprawności podzespołów ograniczających emisję, nie były tak istotne z punktu widzenia przemysłu i nauki. Zaawansowane metody badań emisji mogą dostarczać cennych wniosków dotyczących formowania się i przemieszczania zanieczyszczeń pochodzących od spalin silnikowych i strumieni ciepła przez jednostkę napędową pojazdu.

Rozwój przepisów prawnych dotyczących emisji związków szkodliwych spalin zgodnie z wymaganiami europejskimi, amerykańskimi i azjatyckimi przedstawiają tablice 1 i 2.

Tablica 1. Rozwój przepisów prawnych dotyczących emisji związków szkodliwych spalin zgodnie z wymaganiami europejskimi, amerykańskimi i azjatyckimi [14]

Metody badawcze i normy stosowane na świecie



Tablica 2. Rozwój przepisów prawnych dotyczących emisji związków szkodliwych spalin zgodnie z wymaganiami europejskimi [14]

Unia Europejska										
Harmonogram wprowadzania standardów Euro 5&6										
Silniki o zapłonie iskrowym		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
M, N1 CI I	TA	Euro 5b LUB Euro 5b+ 01 Wrzes 11			Euro 6b 01 Wrzes 14			Euro 6c 01 Wrzes 17		
	FR	Euro 5a	Euro 5b	Euro 5b+	Euro 6b 01 Wrzes 15			Euro 6c 01 Wrzes 18		
N1 CI II, III, N2	TA	Euro 5b LUB Euro 5b+ 01 Wrzes 11			Euro 6b 01 Wrzes 15			Euro 6c 01 Wrzes 18		
	FR	Euro 5a	Euro 5b	Euro 5b+	Euro 6b 01 Wrzes 16			Euro 6c 01 Wrzes 19		
Silniki o zapłonie samoczynnym										
M, N1 CI I	TA	Euro 5b LUB Euro 5b+ 01 Wrzes 11			Euro 6b 01 Wrzes 14			Euro 6c 01 Wrzes 17		
	FR	Euro 5a	Euro 5b	Euro 5b+	Euro 6b 01 Wrzes 15			Euro 6c 01 Wrzes 18		
Z wyłączeniem M1 <i>off-road</i>	TA	Euro 5b LUB Euro 5b+ 01 Wrzes 11			Bez wyłączenia					
	FR	Euro 5a N1	Euro 5b as M	Euro 5b+	Bez wyłączenia					
Z wyłączeniem <i>non off-road</i>	TA	Euro 5b LUB Euro 5b+ 01 Wrzes 11			Bez wyłączenia					
	FR	Euro 5a	Euro 5b	Euro 5b+	Bez wyłączenia					
N1 CI II, III, N2	TA	Euro 5b LUB Euro 5b+ 01 Wrzes 11			Euro 6b 01 Wrzes 15			Euro 6c 01 Wrzes 18		
	FR	Euro 5a	Euro 5b	Euro 5b+	Euro 6b 01 Wrzes 16			Euro 6c 01 Wrzes 19		

Metody badawcze i normy stosowane na świecie

Wprowadzone pakiety nowych regulacji dotyczących emisji zanieczyszczeń z pojazdów samochodowych stanowią istotny element strategii Unii Europejskiej w zakresie ograniczenia zanieczyszczenia powietrza zamieszczonej w programie *Clean Air for Europe*. Tendencje rozwoju przepisów zawierają m.in.:

- wzrost liczby zanieczyszczeń objętych wymaganiami;
- zaostrzenie wymagań (norm) odnośnie do emisji zanieczyszczeń;
- wzrost liczby testów badawczych;
- wydłużenie przebiegu, odpowiadającego tzw. okresowi życia pojazdu, w którym powinny być zachowane właściwości emisyjne.

Szczególny nacisk jest położony na zmniejszenie emisji cząstek stałych. Wprowadzono nie tylko, jak dotychczas, ograniczenia emisji masowej tego zanieczyszczenia, lecz także limit liczby cząstek w spalinach. Obowiązujące do tej pory wartości dopuszczalne masy cząstek stałych dla pojazdów wyposażonych w silniki ZS ulegają wielokrotnemu zmniejszeniu. Wymagania w tym zakresie są rozszerzone także na silniki ZI (w przypadku pojazdów lekkich tylko na silniki ZI z wtryskiem bezpośrednim paliwa) [16].

Drugim zanieczyszczeniem uznanym za szczególnie ważne są tlenki azotu. Wartości dopuszczalne tych związków ulegają zmniejszeniu zarówno w przypadku pojazdów lekkich, jak i ciężkich, przy czym stopień tej redukcji jest znacznie większy dla tych ostatnich. W przypadku pojazdów ciężkich znacznie ograniczona zostaje też emisja węglodorów (THC lub NMHC). Zasady odnoszące się do tlenku węgla nie ulegają zmianie.

Do nowych zanieczyszczeń objętych wymaganiami, oprócz liczby cząstek stałych, należy także amoniak. Ograniczeniu podlega jednak nie emisja, lecz stężenie tego związku w spalinach pojazdów ciężkich.

W nowych uregulowaniach wprowadzono nie tylko zaostrzenie wymagań (norm) odnośnie do emisji zanieczyszczeń, lecz także istotne zmiany dotyczące:

- zasad podziału pojazdów na lekkie i ciężkie;
- zakresu stosowania;
- testów badawczych.

Szczególnie duże zmiany w przepisach wprowadzono w stosunku do pojazdów ciężkich. W związku z tym stosowane dotychczas testy pomiaru emisji zanieczyszczeń:

stacjonarny ESC i dynamiczny ETC są zastąpione przez odpowiednio: WHSC (*world harmonized steady-state cycle*) i WHTC (*world harmonized transient cycle*). Usunięty został całkowicie występujący od 40 lat pomiar zadymienia spalin. Do nowych testów, niewystępujących dotychczas w przepisach, dla pojazdów ciężkich należą:

- pomiar emisji węglowodorów ze skrzyni korbowej silnika;
- kontrola emisji zanieczyszczeń w warunkach pozatestowych;
- pomiar zużycia paliwa i emisji CO₂.

Według nowych zasad metoda badań w ramach kontroli zgodności w eksploatacji pojazdów ciężkich różni się od stosowanej w homologacji typu. Zamiast badań silnika na hamowni silnikowej wprowadzono badania pojazdu w normalnym ruchu drogowym. Emisja zanieczyszczeń jest mierzona za pomocą przenośnego układu do pomiaru emisji zanieczyszczeń PEMS. Stanowi to istotną różnicę w stosunku do zasady obowiązującej dotychczas zarówno w przypadku

pojazdów lekkich, jak i ciężkich, według której metody stosowane w kontroli zgodności w eksploatacji i homologacji typu powinny być identyczne.

Coraz częściej podejmowana jest dyskusja na temat okoliczności pomiaru emisji związków toksycznych spalin – czy warunki obowiązującego testu homologacyjnego w pełni odzwierciedlają rzeczywiste warunki eksploatacyjne pojazdów.

Obecnie możliwe jest wykorzystanie systemu mobilnych analizatorów, który umożliwi pomiary emisyjności pojazdów nie tylko w warunkach stacjonarnych, ale także w dynamicznych (np. w czasie rozruchu) oraz przejściowych pomiędzy dwoma procesami (np. podczas regeneracji filtra cząstek stałych) [15]. Zespół analizatorów mobilnych pozwala na kompleksowy pomiar emisji toksycznych składników spalin *on-board* w czasie rzeczywistym, w warunkach drogowych pojazdów zasilanych różnymi paliwami (benzyną, olejem napędowym, B100, LPG, CNG, E85 itd.).

Czynniki wpływające na rozwój metod badań emisji z pojazdów samochodowych

Transport samochodowy jest jednym z największych źródeł szkodliwej emisji gazów i w ciągu ostatnich kilku lat zaobserwowano zmiany w konstrukcji silników spalinowych będące odpowiedzią na prawne wymagania redukcji tej emisji (w UE wprowadzenie normy Euro 5 w latach 2009/2011 i zapowiadana na lata 2014/2015 norma Euro 6). Dodatkowym czynnikiem wpływającym na modyfikację konstrukcji pojazdów jest wzrost nacisku na zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych, przede wszystkim CO₂, ale również innych, wytwarzanych jako efekt niecałkowitego spalania (jak CH₄), a także będących wynikiem reakcji ubocznych występujących w systemie oczyszczania spalin (jak N₂O i NO₂).

Maksymalne wartości dopuszczalne emisji zawarte w normie Euro 5 są znacznie mniejsze w stosunku do poprzedniej normy Euro 4 (redukcja od 20% do 80%). Część z tych limitów (dozwolonej masy cząstek spalin na kilometr) zostanie ponownie zmniejszona wraz z wprowadzeniem normy Euro 6. Będzie ona wymagała od samochodów osobowych i lekkich pojazdów użytkowych, aby łączna emisja HC, CO, NO_x i cząstek stałych była poniżej 1 grama na kilometr dla pojazdów z silnikami ZS i 1,16 grama na kilometr dla samochodów z silnikami ZI. Sta-

nowi to duże wyzwanie dla konstruktorów podczas projektowania silników, systemów oczyszczania spalin, a także wymaga odpowiednich metod i aparatury pomiarowej. Zmniejszenie limitów określone w aktualnych i przyszłych normach obliguje do stosowania metod wykrywania związków szkodliwych cechujących się dużą dokładnością pomiaru, aby zminimalizować jego niepewności. Główne wymaganie dotyczące znaczenia statystycznej analizy wyników i dokładności pomiarów będzie przedstawione przez Agencję Ochrony Środowiska USA w mającej się wkrótce ukazać procedurze 1065 dla lekkich pojazdów samochodowych. W związku z coraz surowszymi normami emisji większą wagę przywiązuje się także do tego, by testy badawcze prowadzone były w warunkach jak najbardziej zbliżonych do naturalnych. Efektem takiego podejścia stało się wprowadzanie w Unii Europejskiej, EPA i CARB metodyki badawczej dla samochodu przy rozruchu zimnego silnika w niskich temperaturach otoczenia. Wymagania dotyczące badań w temperaturach otoczenia -7°C [8] i $-6,7^{\circ}\text{C}$ [6, 21] zmuszają laboratoria do dostosowania się do tych warunków i posiadania możliwości prowadzenia przyszłych badań przez cały rok.

Modernizacja laboratorium w zakresie badań emisji związków szkodliwych spalin

Przykładem wdrażania tendencji i procesów, które powszechnie występują w dziedzinie badania emisji w motoryzacji, jest modernizacja przeprowadzona w Laboratorium Badania Emisji Instytutu Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL z Bielska-Białej [1]. Była ona wynikiem analizy

różnych aspektów i konsekwencji ostatnio wprowadzanych zmian w przepisach i metodykach badawczych emisji związków szkodliwych spalin z pojazdów samochodowych.

Laboratorium pomiaru emisji spalin, wyposażone w hamownię podwoziową, zostało zbudowane w klimatyzowa-

nym pomieszczeniu w celu prowadzenia testów jezdnych samochodu. Służy ono do przeprowadzania testów emisji związków szkodliwych w spalinach, zużycia paliwa i badania osiągow samochodu podczas różnych cykli jezdnych w szerokim zakresie temperatury otoczenia. Testy emisji typu homologacyjnego wykonuje się z wykorzystaniem specjalnych worków z tworzywa sztucznego (*tedlar*) umożliwiających pobieranie próbek spalin rozcieńczonych powietrzem z otoczenia, a także korzystając z tunelu rozcieńczającego (dla silników zarówno o zapłonie iskrowym, jak i samoczynnym). Prezentowane laboratorium jest przystosowane do prowadzenia bardzo różnorodnych typów badań, do których należą:

- badania próbki spalin rozcieńczonych powietrzem z wykorzystaniem układu CVS oraz badania spalin nierozcieńczonych zgodnie z międzynarodowymi przepisami [7, 20];
- analiza modalna spalin rozcieńczonych i nierozcieńczonych, pomiary spalin nierozcieńczonych w dowolnym punkcie w układzie wylotowym silnika (głównie przed i za reaktorem katalitycznym);
- pomiary i archiwizacja wartości temperatury z 8 możliwych do umieszczenia na układzie wylotowym termopar, pomiary stosunku powietrza i paliwa dostarczanych do silnika oraz obliczanie współczynnika nadmiaru powietrza λ i stopnia recyrkulacji spalin EGR;
- pomiary skuteczności konwersji reaktora katalitycznego oraz określanie czasu *light off* w celu utleniania i redukcji

związków szkodliwych (HC, CH₄, NMHC, CO, NO, NO₂ i NO_x);

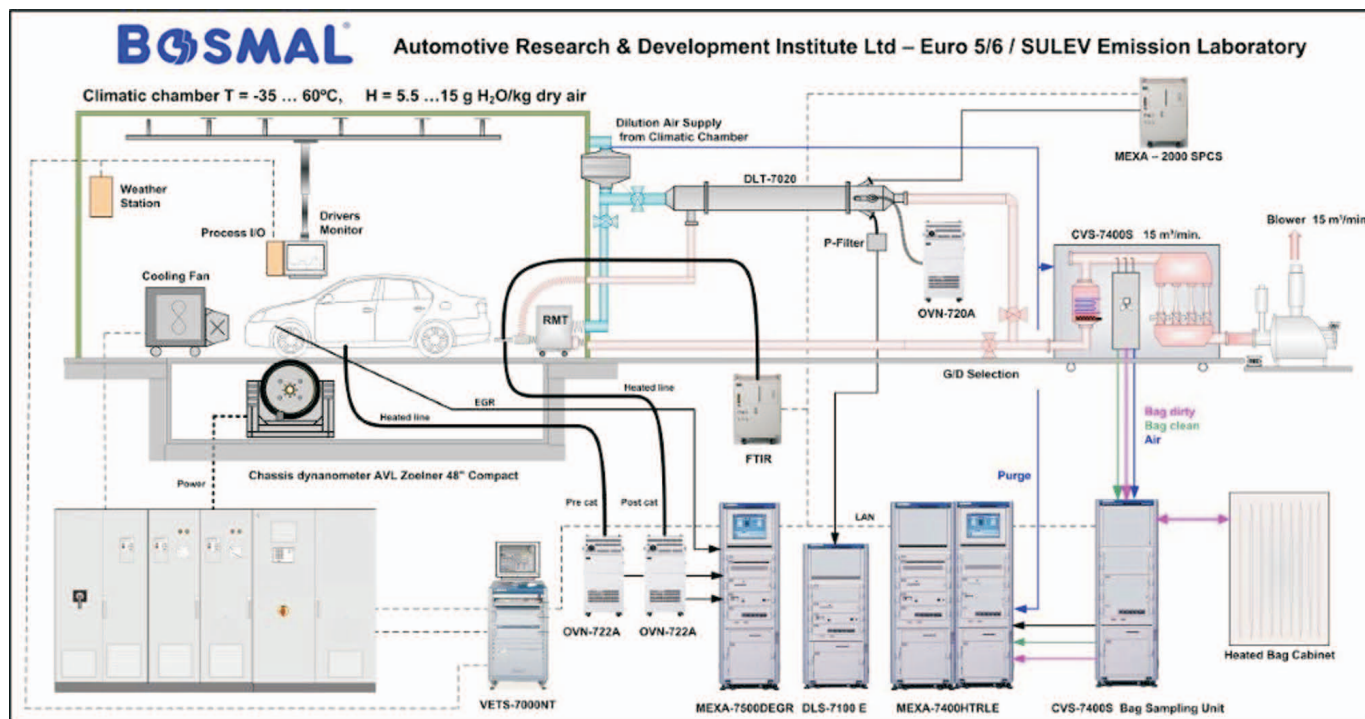
- pomiary emisji CO₂ i zużycia paliwa zgodnie z przepisami UE [10, 19];
- pomiary nieprzezroczystości spalin zgodnie z przepisami UE [10, 20];
- masowy pomiar emisji cząstek stałych i określanie liczby emitowanych cząstek stałych według [2, 7];
- pomiary związków nieobjętych limitami emisji w przepisach, takich jak N₂O, NH₃, przy użyciu dodatkowego analizatora (AVL AMAi60).

Schemat zmodyfikowanego laboratorium przedstawiono na rysunku 1.

Komora klimatyczna stanowi podstawową część laboratorium. W szerokim zakresie temperatur (od -35°C do +60°C) bada się w niej emisję związków szkodliwych spalin, zużycie paliwa, osiągi silnika i pojazdu samochodowego.

Taki duży przedział temperatur otoczenia (95°C), w których mogą być prowadzone testy, stanowi odpowiedź na obecne i przyszłe wymagania badawcze producentów silników, olejów smarujących, paliw i reaktorów katalitycznych. Ponadto komora pomiarowa wyposażona jest w systemy kontroli temperatury i wilgotności powietrza, które umożliwiają utrzymywanie żądanych warunków z dużą dokładnością.

W podłodze laboratorium badawczego usytuowano hamownię podwoziową (AVL Zoellner 48" compact), co w połączeniu z systemem zarządzania pomiarami HORIBA



Rys. 1. Schemat zmodyfikowanego laboratorium pomiaru emisji z komorą klimatyczną, hamownią podwoziową, tunelem rozcieńczającym spaliny powietrzem, workami na próbki spalin, analizatorami spalin wraz z nowo dodanym zestawem analizatorów do analizy modalnej spalin nierozcieńczonych [3]

VETS NT pozwala na wykonanie wielu różnorodnych badawczych cykli jezdnych (NEDC, UDC, FTP-75, US06, SC03, HWFET i innych). Nowe cykle jezdne są szybko implementowane dzięki zmianom w oprogramowaniu, co pozwoliło na włączenie do badań cyklu WLTC planowanych testów.

Laboratorium badania emisji spalin wyposażone jest w rozbudowany zestaw analizatorów do pomiarów emisji związków szkodliwych spalin. Składa się on z układu próbkowania spalin CVS-CFV wraz z tunelem rozcieńczającym spaliny powietrzem i systemem próbkowania cząstek stałych oraz z urządzenia do pomiaru liczby cząstek stałych – PN. Ponadto zestaw analizatorów spalin pozwala na pomiar stężenia tlenu węgla, dwutlenku węgla, węglowodorów THC, metanu, węglowodorów niemetanowych NMHC, tlenków azotu ($\text{NO} + \text{NO}_2$).

Nowym elementem systemu pomiarowego jest dodatkowy zestaw analizatorów służący do badania stężenia HC, CH_4 , NMHC, CO, CO_2 , O_2 , NO, NO_2 , NO w nierozcieńczonych spalinach, a także stopnia recyrkulacji spalin EGR. Wszystkie

pomiary emisji związków szkodliwych spalin są zarządzane przez komputerowy system sterowania pomiarami VETS.

Wymagania Euro 5b, dotyczące badania emisji związków szkodliwych z pojazdów samochodowych o masie całkowitej do 3500 kg, wprowadziły obowiązek określania masy emitowanych cząstek (PM) metodą wagową poprzez pomiar masy cząstek osadzonych na filtrach zestawu próbkującego pobierającego spaliny z tunelu rozcieńczającego.

Ponadto przeprowadza się ocenę liczby cząstek stałych (PN) w przedziale średnic $27 \div 300$ nm dla samochodów z silnikami ZS. Taki pomiar w przypadku pojazdów wyposażonych w filtr cząstek stałych (DPF) jest znacznie dokładniejszy niż wyznaczanie masy emitowanych cząstek, zwłaszcza dla samochodów niskoemisyjnych.

Poza testami silników o zapłonie samoczynnym urządzenie to jest używane również do pomiaru ilości cząstek stałych w spalinach z silnika o zapłonie iskrowym z wtryskiem bezpośrednim zasilanego różnymi paliwami [3, 4] (w związku z planowanym wprowadzeniem limitów PN dla silników ZI z wtryskiem bezpośrednim benzyny w wymaganiach Euro 6) [5].

Podsumowanie

Pomimo wyzwań dotyczących konieczności dalszego ograniczania emisji związków szkodliwych silniki spalinowe prawdopodobnie jeszcze przez wiele dziesięcioleci pozostaną najważniejszym źródłem napędu stosowanym w transporcie drogowym.

Wprowadzanie nowych, coraz surowszych norm ograniczania emisji spalin z pojazdów samochodowych, jak Euro 6, Euro 7, standardów globalnych (WLTP) i lokalnych (restrykcje w miastach dotyczące wjazdu i ruchu pojazdów) [5, 12, 13], zmusza nie tylko do dokonania zmian w konstrukcji i regulacji silników spalinowych, ale także do nieustannych inwestycji związanych z wyposażeniem badawczym i aparaturą pomiarową stosowanymi w laboratoriach prowadzących badania rozwojowe samochodów i silników. Ponadto konieczne jest

uzupełnienie wiedzy technicznej na temat nowych procedur i metod analiz spalin [13]. W celu sprostaną wymaganiom prawnym metody badawcze muszą być na bieżąco oceniane i rozwijane w związku ze stałymi zmianami zarówno w zakresie aparatury pomiarowej, jak i stosowanych programów komputerowych.

Zmiany w przepisach dotyczące zmniejszenia emisji związków szkodliwych spalin, gazów cieplarnianych, a także ograniczenia zużycia paliwa są obecnie jednymi z najważniejszych czynników wpływających na kierunki rozwoju motoryzacji. W Unii Europejskiej, USA i Japonii uregulowaniami prawnymi objęte są zarówno maksymalne dopuszczalne wartości emisji, jak i metody badań emisji związków szkodliwych spalin oraz wyposażenie laboratorium pomiarowego.

Prosimy cytować jako: Nafta-Gaz 2014, nr 8, s. 534–540

Artykuł powstał na podstawie pracy statutowej pt. *Przegląd metod badań pojazdów samochodowych w odniesieniu do najnowszych standardów emisji* – praca INiG na zlecenie MNiSW; nr zlecenia: 0063/TE1/13, nr archiwalny: DK-4100-63/13.

Literatura

- [1] Bielaczyc P., Szczotka A., Pajdowski P., Woodburn J.: *Development of vehicle exhaust emission testing methods – BOSMAL's new emission testing laboratory*. Combustion Engines / Silniki Spalinowe 2011, nr 1 (144), s. 3–12.
- [2] Bielaczyc P., Szczotka A., Swiatek A., Woodburn J.: *A comparison of ammonia emission factors from light-duty vehicles operating on gasoline, liquefied petroleum gas (LPG) and compressed natural gas (CNG)*. SAE Int. J. Fuels Lubr. 2012, vol. 5, issue 2, DOI: 10.4271/2012-01-1095.
- [3] Bielaczyc P., Szczotka A., Woodburn J.: *A study of gasoline-ethanol blends influence on performance and exhaust emissions from a light-duty gasoline engine*. SAE Technical Paper 2012-01-1052, 2012, DOI: 10.4271/2012-01-1052.
- [4] Bielaczyc P., Szczotka A., Woodburn J.: *The effect of various*

- petrol-ethanol blends on exhaust emissions and fuel consumption of an unmodified light-duty SI vehicle*. SAE Technical Paper 2011-24-0177, 2011, DOI: 10.4271/2011-24-0177.
- [5] Bielaczyc P., Woodburn J.: *Analysis of current and future trends in automotive emissions, fuels, lubricants and test methods*. Combustion Engines / Silniki Spalinowe 2011, nr 4 (147), Paper PTNSS-2011-SS4-412.
- [6] *California Exhaust Emission Standards and Test Procedures for 2001 and Subsequent Model Passenger Cars, Light-Duty Trucks, and Medium-Duty Vehicles*. Zmienione: 02.12.2009, <http://www.arb.ca.gov> (dostęp: 2013).
- [7] *Commission Regulation (EC) No 692/2008 of 18 July 2008 implementing and amending Regulation (EC) No 715/2007 of the European Parliament and of the Council on type-approval of motor vehicles with respect to emissions from light passenger and commercial vehicles (Euro 5 and Euro 6) and on access to vehicle repair and maintenance information*. OJ L 199, 28.7.2008, s. 1–136.
- [8] *Council Directive 70/220/EEC of 20 March 1970 on the approximation of the laws of the Member States relating to measures to be taken against air pollution by gases from positive-ignition engines of motor vehicles*. OJ L 076, 06.04.1970.
- [9] *Council Directive 72/306/EEC of 2 August 1972 on the approximation of the laws of the Member States relating to the measures to be taken against the emission of pollutants from diesel engines for use in vehicles*. OJ L 190, 20.8.1972.
- [10] *Council Directive 80/1268/EEC of 16 December 1980 on the approximation of the laws of the Member States relating to the fuel consumption of motor vehicles*. OJ L 375, s. 36–45.
- [11] Czerwinski J., Stepien Z., Oleksiak S., Otto A.: *Influences of biocomponents (RME) on emissions of a Diesel engine with SCR*. Nafta-Gaz 2011, nr 3, s. 198–208.
- [12] Hill L.: *Future trends in emissions certification legislation and some implications for measurement techniques*. Proceedings of the First International Exhaust Emissions Symposium, Bielsko-Biala, Poland, 20 May 2010. ISBN: 978-83-931383-0-2.
- [13] Hill L.: *Implications of Future Emissions Legislation on Emissions and Fuel Economy Testing Procedures and Equipment*. Symposium Proceedings of the 2nd International Exhaust Emissions Symposium, Bielsko-Biala, Poland 26/27 May 2011. ISBN 978-83-931383-1-9. Combustion Engines / Silniki Spalinowe 2011, nr 4 (147).
- [14] <http://delphi.com/manufacturers/auto/powertrain/> (dostęp: 2013).
- [15] Mazanek A.: *Badania porównawcze emisji toksycznych składników gazów wylotowych z silnika o zaplonie samoczynnym zasilanego ON i B10*. Nafta-Gaz 2010, nr 9, s. 835–849.
- [16] Merkisz J., Pielecha J., Radzimirski S.: *Pragmatyczne podstawy ochrony powietrza atmosferycznego w transporcie drogowym*. Poznań, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 2009.
- [17] Merkisz J., Radzimirski S.: *Stan obecny i przewidywane zmiany w europejskich przepisach o emisji zanieczyszczeń z samochodów ciężarowych i autobusów*. Transport Samochodowy 2009, nr 2, s. 41–70.
- [18] *Regulation (EC) No 715/2007 of the European Parliament and of the Council of 20 June 2007 on type approval of motor vehicles with respect to emissions from light passenger and commercial vehicles (Euro 5 and Euro 6) and on access to vehicle repair and maintenance information*. OJ L 171/1, 29.06.2007.
- [19] United Nations Economic Commission for Europe, Regulation no. 83, series 05 Rev.1/Add.82/Rev.3/Amend.4.
- [20] United Nations Economic Commission for Europe, Regulation no. 101, series 05.
- [21] United States Code of Federal Regulations: *Title 40, Chapter I, Parts 81-99, revised as of 1 July 2010*; <http://ecfr.gpoaccess.gov> (dostęp: 2013).



Dr inż. Aleksander MAZANEK
 Adiunkt w Zakładzie Oceny Właściwości Eksploatacyjnych.
 Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
 ul. Lubicz 25A
 31-503 Kraków
 E-mail: mazaneka@inig.pl