

Development of vehicle exhaust emission testing methods – BOSMAL's new emission testing laboratory

Legislation regarding the reduction of harmful exhaust emissions, greenhouse gases and fuel consumption is one of the strongest drivers of development in automobile design. Emissions standards in the European Union (EU), USA and Japan determine not only maximum permissible emissions factors, but also emissions testing methods and laboratory design. BOSMAL has risen to meet these challenges by investing in a new, state-of-the-art emissions testing laboratory, housed within a climate chamber. This paper presents BOSMAL's new M1/N1 vehicular emissions and fuel consumption laboratory in a climatic chamber for the testing of vehicles in accordance with the Euro 5 & 6 and US Environmental Protection Agency (EPA) & California Air Resources Board (CARB) standards. The specifications, capabilities and design features of the sampling and analysis and climate simulation systems are presented and discussed in relation to the increasing drive for cleaner light duty road vehicles. A recently-installed particle number counting system is described in the context of European Union legislation on the emission of particulate matter from CI and SI vehicles. The laboratory permits BOSMAL's engineers to compete in the international automotive arena in the development and construction of new, more ecologically friendly and increasingly fuel efficient vehicles.

Keywords: emission testing, emission test methods, climatic chamber, Euro 5, Euro 6, SULEV

Rozwój metod badania emisji związków szkodliwych spalin z pojazdów samochodowych – nowe laboratorium do badania emisji w Instytucie BOSMAL

Zaostrzenie przepisów dotyczących redukcji emisji związków szkodliwych spalin silnikowych, emisji gazów cieplarnianych i zużycia paliwa są najważniejszymi czynnikami sterującymi rozwojem konstrukcji pojazdów samochodowych. Normy dotyczące emisji obowiązujące w Unii Europejskiej (UE), USA i Japonii określają nie tylko maksymalne poziomy emisji, ale także metodykę prowadzenia badań emisji w specjalnie skonstruowanych i zbudowanych laboratoriach. W celu sprostania rosnącym wymaganiom technicznym prowadzenia badań emisji spalin BOSMAL zbudował jedno z najnowocześniejszych w Europie laboratoriów do badania emisji, wyposażone w komorę klimatyczną. Artykuł ten prezentuje nowe laboratorium do badania emisji związków szkodliwych spalin i zużycia paliwa z samochodów kategorii M1/N1, wyposażone w komorę klimatyczną i zbudowane zgodnie z wymaganiami przepisów Euro 5 i 6, Agencji Ochrony Środowiska USA (EPA) i Kalifornijskiej Rady Ochrony Powietrza (CARB). Najważniejsze założenia konstrukcyjne laboratorium, specyfikacja aparatury próbkującej spaliny i pomiarowej przedstawiono w odniesieniu do wymagań przepisów dla pojazdów drogowych o niskiej emisji. System do pomiaru liczby cząstek stałych w spalinach, który ostatnio zainstalowano w laboratorium, zaprezentowano w odniesieniu do europejskich przepisów dotyczących metod pomiarów cząstek stałych w spalinach samochodów z silnikami ZS i ZI. Nowe laboratorium badania emisji pozwala specjalistom z BOSMAL na pełniejsze uczestnictwo w międzynarodowym współzawodnictwie w rozwoju przemysłu motoryzacyjnego, przy konstruowaniu nowych, bardziej ekologicznych i zużywających mniej paliwa pojazdów samochodowych.

Słowa kluczowe: pomiary emisji, testy emisji spalin, komora klimatyczna, normy spalin Euro 5, Euro 6, SULEV

1. Introduction

Finite resources of liquid fossil fuels and the harmful emissions associated with the combustion of such fuels – together with international commercial competition – are the major factors driving automotive vehicle development. The main trends in engine and vehicle design are currently driven by the requirements of legislation concerning harmful exhaust emissions and reducing carbon dioxide (CO₂) emissions. Vehicular transport is one of the biggest sources of harmful emissions and major changes in engine and vehicle design have been observed in the past few years in response to emissions reduction legislation (in the EU: the introduction of the Euro 5 standard's restrictions over the years 2009/2011, and the scheduled introduction of Euro 6

1. Wprowadzenie

Ograniczone zasoby paliw płynnych i zapobieganie szkodliwym emisjom związanym ze spalaniem tych paliw, a także międzynarodowa konkurencja są głównymi czynnikami przyspieszającymi rozwój pojazdów samochodowych. Główne trendy w konstrukcji pojazdów samochodowych i ich silników napędowych są obecnie wyznaczone przez wymagania przepisów dotyczących ograniczania szkodliwych emisji w gazach spalinowych i emisji dwutlenku węgla (CO₂).

Transport samochodowy jest jednym z największych źródeł tej emisji i główne kierunki zmian w konstrukcji silników samochodowych i samochodów są wyznaczone w bieżących latach przez wymagania przepisów prawnych

in 2014/2015). An additional factor is widespread pressure for the reduction of greenhouse gases, mostly by reduction of CO₂ emissions. One of the major challenges for humanity is to fight global warming by reducing greenhouse gas emission (particularly CO₂) to the atmosphere, by 20 per cent by 2020 and 50 per cent by 2050. Road transport is currently one of the largest single sources of CO₂ emissions in the EU [1, 2].

The introduction of the Euro 5 and Euro 6 standards, together with general pressure to reduce greenhouse gas emissions in the EU, mainly CO₂ – which is equivalent to a reduction in fuel consumption – drives research and development work on new low-emission vehicles, the use of alternative fuels, new types of engines and increasing the efficiency of engines currently produced.

Maximum emission factors in the Euro 5 standard represent a significant reduction in comparison to the Euro 4 standard (decreases range from 20 to 80 per cent). Some of these maximum permissible masses per kilometre will be reduced still further upon the entry into force of Euro 6 [3]. The Euro 6 standard will require passenger cars to have combined emissions of HC, CO, NO_x and PM of under 1 gram per kilometre, which presents a design challenge both in terms of engines and aftertreatment systems, and emissions analysis systems and test installations. The lower emission factors specified in recent and future legislation require high-sensitivity detection methods, to minimize the effect caused by measurement uncertainties. The prospect of significant fines (€20/gCO₂/km per vehicle sold in 2012, rising to €95 in 2015) underlines the need for accurate, reproducible results [4]. This general requirement for statistical significance and accuracy is likely to be echoed in the EPA's forthcoming '1064' light duty test procedure, which may be released this year [5]. In addition to progressively stricter emissions limits, efforts are underway to make testing procedures more representative of real-world conditions. One effect of efforts in this area has been the introduction of cold-start testing at low ambient temperatures in EU, EPA and CARB legislation. Type approval legislation requirements for testing at -7 °C [3] and -6.7 °C [6] necessitate facilities for simulation of such conditions on demand, all year round. To satisfy these progressively stricter emission testing requirements, BOSMAL has invested in one of the most up-to-date Euro 5/6- [3], EPA- [7] and CARB- [6] compliant emissions testing laboratories in Europe, housed within a climatic chamber for the simulation of a wide range of ambient conditions (Figs 1&2). Knowledge of forthcoming emissions standards is imperative for the laboratory design process [4], and BOSMAL's investment in the new laboratory represents a technologically a methodologically sound response to the challenges proposed by such pieces of legislation.

The new laboratory was completed in 2010, and formally opened during the First International Exhaust Emissions Symposium on 20 May 2010, as previously reported in [2]. The new laboratory complements BOSMAL's existing emissions testing laboratory (Fig. 1); the focus of this paper is the new laboratory and climatic chamber.

dotyczących emisji związków szkodliwych spalin oraz ograniczenia emisji CO₂ – wprowadzenie norm emisji Euro 5 w latach 2009/2011 i planowane wprowadzenie norm Euro 6 w latach 2014/2015. Dodatkowym czynnikiem jest powszechny nacisk na redukcję emisji gazów cieplarnianych w krajach Unii Europejskiej, głównie CO₂.

Jednym z najważniejszych wyzwań naszej cywilizacji jest walka z globalnym ociepleniem przez obniżenie emisji gazów cieplarnianych do atmosfery, a szczególnie CO₂ o 20% do 2020 r. i 50% do 2050 r. Transport drogowy jest obecnie jednym z największych źródeł emisji CO₂ w Unii Europejskiej [1, 2].

Wprowadzenie norm emisji Euro 5 i Euro 6 oraz powszechny nacisk na redukcję emisji gazów cieplarnianych w UE, głównie CO₂ – co jest jednoznaczne z obniżaniem zużycia paliwa – kieruje prace badawczo-rozwojowe na rozwój konstrukcji nowych, niskoemisyjnych pojazdów, używanie paliw alternatywnych, rozwój konstrukcji nowych typów silników i zwiększanie sprawności jednostek napędowych obecnie produkowanych.

Maksymalnie dopuszczalne poziomy emisji związków szkodliwych spalin wprowadzone w normie Euro 5 (limity zaokrąglone o 20 – 80%) są znacznie obniżone w stosunku do wymagań przepisów Euro 4. Niektóre z dopuszczalnych wartości masowej emisji na kilometr drogi przebytej w cyklu jeżdżym będą dalej obniżane po wprowadzeniu kolejnej normy Euro 6 [3]. Przepisy Euro 6 będą mogły być spełnione tylko przez samochody osobowe, których łączna emisja HC, CO, NO_x i PM będzie poniżej 1g/km, co stanowi wyzwanie zarówno dla konstrukcji silników wraz z układami katalitycznego oczyszczania spalin, jak i analitycznej aparatury pomiarowej. Niższe limity emisji, wyznaczone w obecnych i przyszłych normach, wymagają urządzeń o zwiększonej dokładności pomiaru, minimalizującej wpływ niepewności pomiaru na wynik. Propozycje karnych opłat za nadmierną średnią emisję CO₂ floty pojazdów (od 20 Euro/g CO₂/km dla samochodów, które będą wprowadzone na rynek w 2012 r. do 95 Euro w 2015 r.) wymuszają konieczność wykonywania dokładnych i powtarzalnych pomiarów tej emisji. Wymagania dotyczące dokładności pomiarów i statystycznej istotności będą miały odzwierciedlenie w nowo proponowanych normach EPA dla lekkich pojazdów samochodowych (norma 1064), które mogą być wprowadzone jeszcze w bieżącym roku. Oprócz zastrzania limitów emisji związków szkodliwych trwają prace nad dostosowaniem procedur badawczych (stosowanych w tego typu badaniach) do rzeczywistych warunków występujących w ruchu pojazdów w różnych częściach świata. Jednym z efektów tych działań było wprowadzenie obowiązku wykonywania testów homologacyjnych w ujemnych temperaturach otoczenia w wymaganiach UE, EPA i CARB. Podczas tych badań testy emisji wykonywane są przy temperaturze powietrza otoczenia w laboratorium -7 °C [3] i -6,7 °C [6], a więc laboratorium badawcze musi być przystosowane do prowadzenia badań w takich warunkach przez cały rok.

Aby spełnić wymagania tych nowych, zastrzonych przepisów w BOSMAL zbudowano jedno z najnowocze-

2. Characteristics of the new laboratory

The laboratory is an advanced, climate-controlled facility for performing emissions, fuel consumption and performance tests over a range of driving cycles and a broad range of ambient conditions. Emissions testing is carried out with the aid of sampling bags, modal analysis and a dilution tunnel (for use with CI and SI vehicles). These facilities permit the execution of a wide range of emissions tests, including:

- CVS bag diluted and raw tailpipe emissions testing to international standards [3, 8]
- Modal analysis of diluted and raw tailpipe gases
- Measurement of the air-fuel ratio and calculation of λ
- Catalytic converter efficiency testing and determination of light-off time
- CO₂ emissions and fuel consumption measurement according to EU standards [9, 10]
- Opacity measurements to EU standards [11, 12]

śniejszych obecnie laboratoriów emisji związków szkodliwych spalin w Europie, wykonane zgodnie z najnowszymi normami Euro 5/6 [3], EPA [7] i CARB, wyposażone w komorę klimatyczną do symulacji szerokiego zakresu różnych warunków otoczenia. Podczas projektowania tego laboratorium emisji wykorzystano wiedzę o przyszłych wymaganiach, nowych metodach pomiarowych i nowych limitach związków szkodliwych, tak by spełnić wszystkie najnowsze światowe propozycje w tym zakresie. Budowę nowego laboratorium emisji zakończono w 2010 r., a jego oficjalne otwarcie nastąpiło w czasie Pierwszego Międzynarodowego Sympozjum Emisji, które odbyło się 20 maja 2010 r. (obszerna relacja z tego wydarzenia została przedstawiona w referacie [2]). Laboratorium to, opisane poniżej, uzupełniło dotychczasowe laboratorium badania emisji z samochodów osobowych i użytkowych, działające w BOSMAL (rys. 1).

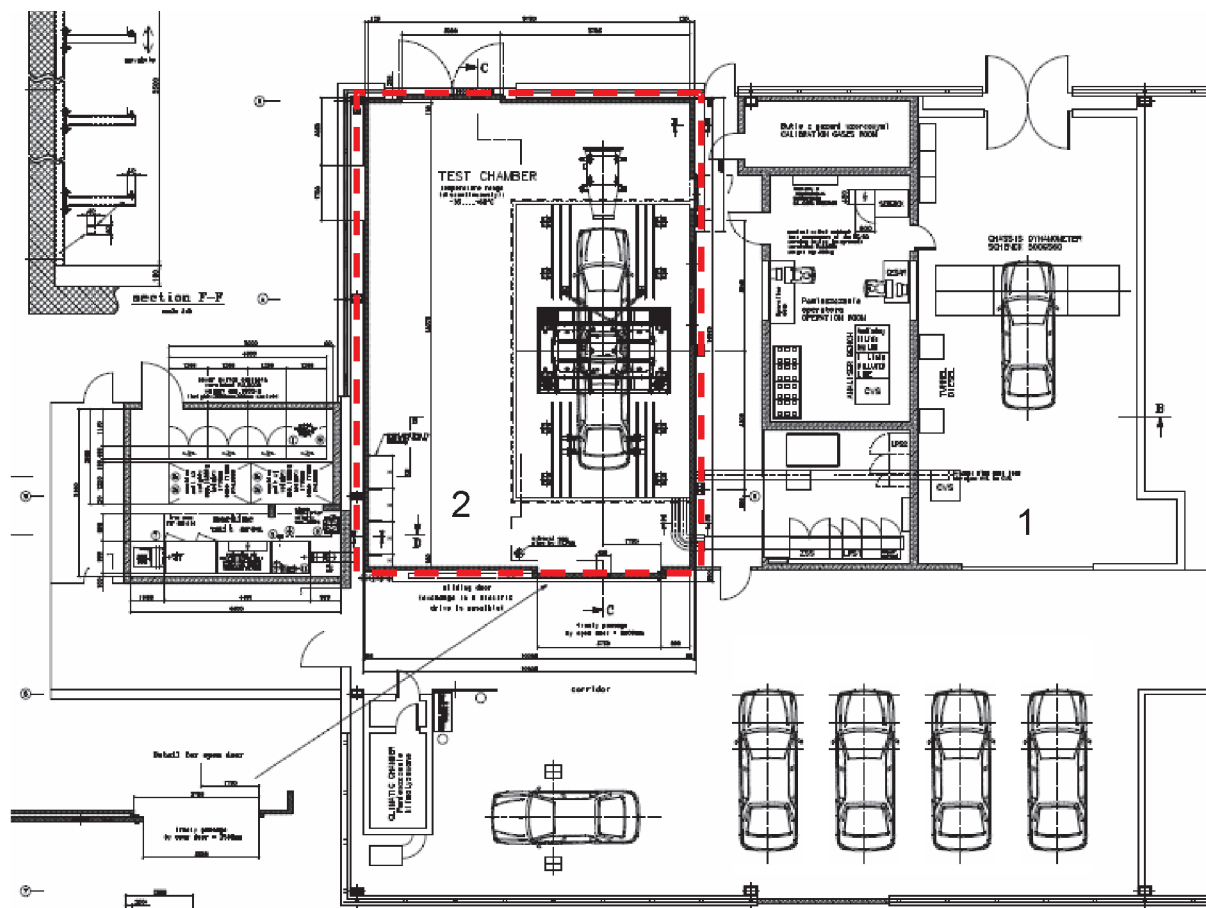


Fig. 1. Technical drawing of BOSMAL's emission testing laboratories nos. 1 and 2 and heat soak area; climatic chamber outlined in red
Rys. 1. Rysunek techniczny laboratoriów emisji (1 i 2) i pomieszczenia sezonowania w BOSMALU; czerwoną linią oznaczono komorę klimatyczną

- Gravimetric and numeric quantification of particulate matter emission according to [3, 8] (described in further detail below).

In addition to the chamber itself, a dedicated heat soaking area was constructed and equipped with the necessary insulation and thermal control equipment. A technical draw-

2. Charakterystyka nowego laboratorium badania emisji

Laboratorium jest zaawansowanym technologicznie stanowiskiem badawczym do wykonywania pomiarów emisji, zużycia paliwa i osiągów samochodów w szerokim

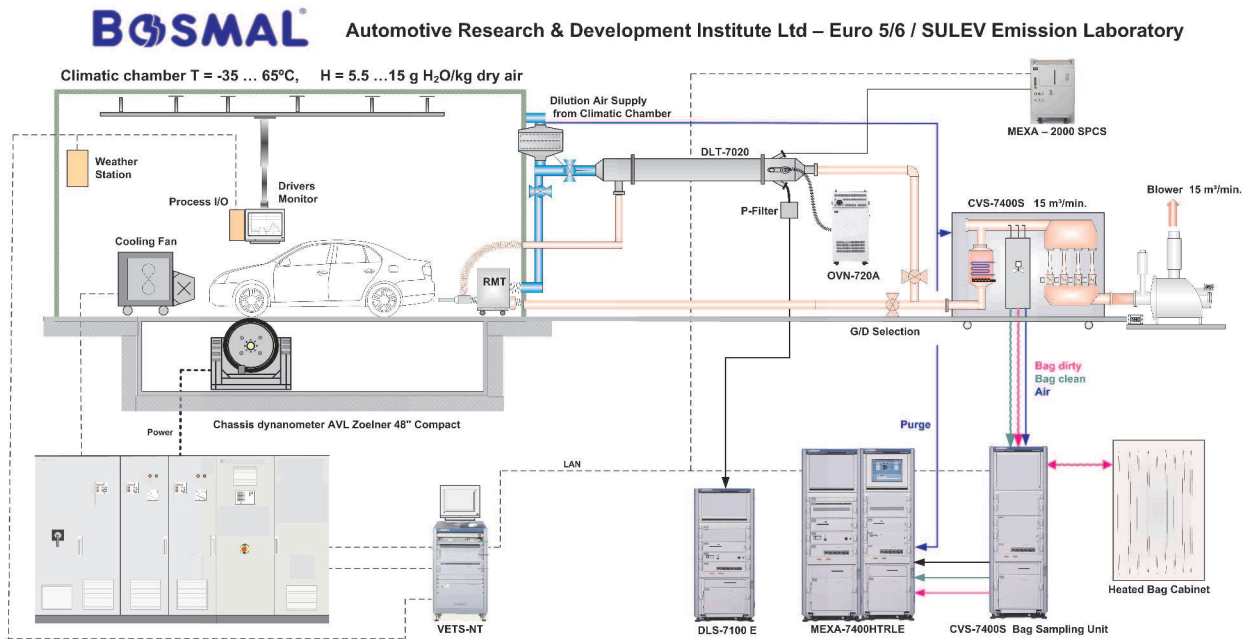


Fig. 2. Schematic diagram of the new laboratory, showing the climatic chamber, chassis dynamometer, dilution tunnel, emissions sampling bags and all analysers, including the recently-added solid particle counting system

Rys. 2. Schemat nowego laboratorium z komorą klimatyczną, hamownią podwoziową, tunelem rozcieńczającym, workami na próbki spalin, analizatorami spalin oraz zainstalowanym ostatnio licznikiem cząstek stałych

ing and schematic diagram of the laboratory are presented in Figs 1 and 2.

3. Climatic chamber

The base of the laboratory is a climatic chamber (Figs 1&3), built by the German firm Weiss, 620 m³ in volume (length × width × height of chamber = 14.3 × 10.1 × 4.3 metres), which allows the execution of emissions, fuel consumption and performance measurements at temperatures ranging from -35 °C to +60 °C. The chamber is equipped with temperature and humidity control systems, which facilitate the maintenance of the desired temperature and humidity levels. During operation of the chamber, (including during the execution of emission and vehicle performance tests), the chamber permits:

- temperature control over the range -35 °C to +60 °C,
- control accuracy (temperature tolerance): ±1.0 °C (under static conditions, with zero heat load); ±1.2 °C (during emissions tests); ±2 °C (during performance tests),
- control over the humidity value during emissions tests: from 5.5 to 15.0 grams of water per kilogram of dry air at temperatures ranging from +20 to +35 °C,
- variation in humidity level: ≤ 5%,
- temperature gradient (with the chamber empty): 0.5 °C per minute during warm-up and cool-down phases.

The chamber roof features standard lamps to provide even illumination throughout the chamber, but may be upgraded to include high-power solar lamps in the future, as required for the EPA's supplemental A/C test ('SC03').

A high capacity ventilation system is installed in the chamber, capable of replacing 2400 m³ of chamber air per

zakresie testów jezdnych i warunków otoczenia. Testy emisji (samochodów z silnikami ZI i ZS) są wykonywane z wykorzystaniem specjalnego systemu CVS i worków próbkujących, analizy modalnej i tunelu rozcieńczającego. Wyposażenie to pozwala na wykonywanie następujących testów emisji:

- badania próbki spalin rozcieńczonych z wykorzystaniem układu CVS oraz badania spalin nierozcieńczonych, zgodnie z międzynarodowymi przepisami [3, 8]
- analiza modalna spalin rozcieńczonych i nierozcieńczonych
- pomiary stosunku powietrza i paliwa oraz obliczanie współczynnika nadmiaru powietrza λ
- pomiary sprawności reaktora katalitycznego oraz określanie czasu light-off
- pomiary emisji CO₂ i zużycia paliwa zgodnie z przepisami UE [9, 10]
- pomiary nieprzeźroczystości spalin zgodnie z przepisami UE [11, 12]
- masowe i liczbowe określanie emisji cząstek stałych zgodnie z [3, 8] (opisane szczegółowo poniżej)

Poza komorą klimatyczną znajduje się specjalnie wydzielone i klimatyzowane pomieszczenie do sezonowania samochodów, w którym utrzymywana jest stała temperatura. Rysunek techniczny i schemat laboratorium przedstawiono na rysunkach 1 i 2.

3. Komora klimatyczna

Podstawową częścią laboratorium jest komora klimatyczna (rys. 1 i 3) niemieckiej firmy WEISS o kubaturze 620 m³ (długość/szerokość/wysokość komory = 14,3 m/10,1

hour, theoretically enabling all the air in the chamber to be replaced in under 16 minutes.

The chamber, together with emissions testing equipment and analysers, make up BOSMAL's emissions testing laboratory no. 2 (Fig. 2).

4. Chassis dynamometer

In order to carry out cycle-based emissions tests, the laboratory features a single roller chassis dynamometer (Fig. 2), made by AVL of Austria, with the following specification:

Table 1. Specification of the chassis dynamometer

Tabela 1. Specyfikacja hamowni podwoziowej

Roller diameter/ <i>średnica rolki</i>	1219.2 mm
Nominal power/ <i>moc nominalna</i>	153 kW
Peak power/ <i>moc chwilowa</i>	258 kW
Maximum velocity/ <i>maksymalna prędkość</i>	200 km/h
Simulated mass/ <i>symulowana masa</i>	454-5448 kg

The AVL-Zoellner 48" compact chassis dynamometer system for exhaust emissions analysis is designed for testing 2 axled motor vehicles with either front or rear wheel drive and with axle loads of up to 2000 kg. The design of this chassis dynamometer is based on the guidelines of the German automotive industry – the AK Specification and the EPA Bid Specification C100081T1. This test system is designed with the AC power engine positioned between the rollers. This high-end chassis dynamometer is controlled by software which includes functions not only for emissions testing according to international test cycles (NEDC (European Union); FTP-75, HWFET, US06, SC03 (USA);

m/4,3 m). Komora wyposażona jest w system kontroli temperatury i wilgotności, który zapewnia utrzymywanie odpowiedniej temperatury i wilgotności podczas pracy komory, uwzględniając wykonywanie testów emisji i badania osiągnięć samochodu:

- regulacja temperatury odbywa się w zakresie od $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$,
- dokładność regulacji (dopuszczalne wahania) temperatury wynosi: $\pm 1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ – w warunkach statycznych bez obciążenia cieplnego, $\pm 1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ – podczas testów emisji, $\pm 2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ – podczas badań osiągnięć,
- regulowana wartość wilgotności podczas testów emisji wynosi od 5,5 do 15 g wody/kg suchego powietrza w zakresie temperatur od $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+35\text{ }^{\circ}\text{C}$,
- dokładność utrzymywania zadanej wilgotności wynosi $\pm 5\%$,
- szybkość zmiany temperatury (dla komory bez obiektów badawczych) wynosi $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min.}$ przy schładzaniu i przy nagrzewaniu.

Wewnątrz komory na suficie zamontowanych jest 15 lamp zapewniających oświetlenie o bardzo równomiernym natężeniu. Istnieje również możliwość zamontowania w przyszłości specjalnego systemu lamp symulujących promieniowanie słoneczne, zgodnie z wymaganiami przepisów EPA dla specjalnych testów SC03 (A/C).

Komora posiada bardzo wydajną wentylację, zapewniającą wymianę 2400 m^3 powietrza na godzinę, a więc teoretycznie umożliwiającą całkowitą wymianę powietrza w komorze w ciągu 16 minut.

Komora razem z układem poboru i rozcieńczania spalin oraz z analizatorami i systemem zarządzającym pomiarami VETS tworzy laboratorium emisji nr 2 w BOSMALU.

4. Hamownia podwoziowa

Pomiary emisji w cyklach jezdnych wykonywane są na jednorolkowej hamowni podwoziowej firmy AVL z Austrii (rys. 2), o następujących parametrach:

Hamownia podwoziowa AVL-Zoellner 48" wykorzystywana do testów emisji jest zaprojektowana do badań samochodów zarówno z przednim, jak i tylnym napędem oraz o maksymalnym obciążeniu osi wynoszącym 2000 kg. Projekt hamowni podwoziowej wykonany jest na podstawie wytycznych niemieckiego przemysłu motoryzacyjnego – specyfikacji AK i specyfikacji EPA C100081T1. W systemie tym silnik asynchroniczny prądu zmiennego (AC) znajduje się między rolkami. Ten rodzaj zaawansowanej technologicznie hamowni podwoziowej sterowany jest przez specjalny

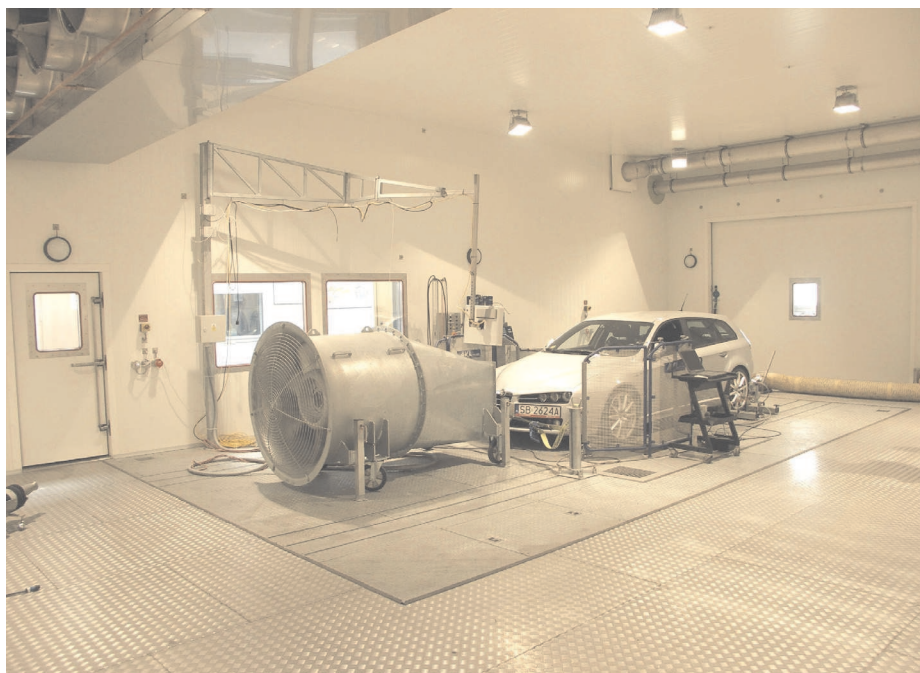


Fig. 3. Internal view of the climatic chamber, showing the windspeed fan and driver's aid mounted in front of a vehicle

Rys 3. Wewnętrzny widok komory klimatycznej z wentylatorem chłodzącym samochód i monitorem z przebiegiem cyklu jezdnych, zamontowanym przed samochodem

Mode 10-15, Mode 11, JC08 (Japan)), but also for obtaining engine power measurements under both static and dynamic conditions (Figs 4, 5).

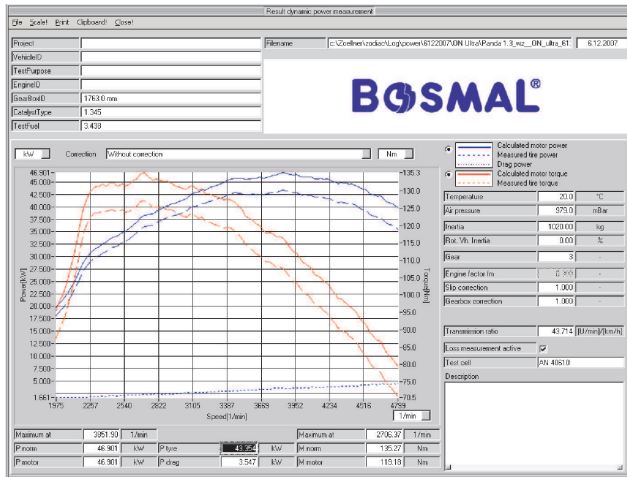


Fig. 4. Dynamic engine power and torque measurement screenshot
 Rys. 4. Przykładowe wyniki dynamicznego pomiaru mocy i momentu obrotowego silnika

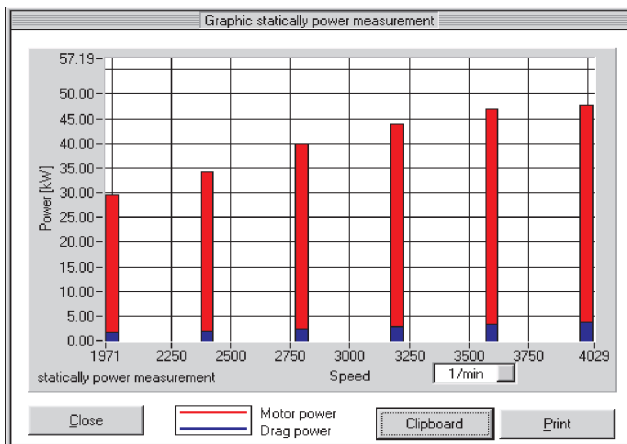


Fig. 5. Static engine power measurement screenshot showing static measurements at six different engine speeds
 Rys. 5. Przykładowe wyniki statycznego pomiaru mocy dla sześciu różnych prędkości obrotowych silnika

The chamber floor and dynamometer pit were designed to have the capability for future upgrade to a twin single roller facility, thereby making the testing of four-wheel-drive vehicles possible.

A 31.4 kW windspeed fan is positioned in front on the chassis dynamometer to simulate air flow at speeds 0-125 km/h (Fig. 3).

5. Emissions testing system

The laboratory features an emissions analysis suite from the Japanese firm Horiba, consisting of a CVS-CFV sampling system together with a dilution tunnel, a set of MEXA 7400 HRTLE exhaust analysers (Fig. 6) for simultaneous measurement of three compounds (carbon monoxide, carbon dioxide and methane) and two compound types (oxides of nitrogen,

program, który umożliwia nie tylko wykonywanie testów emisji według różnych cykli jezdnych obowiązujących na całym świecie (NEDC (Unia Europejska); FTP-75, HWFET, US06, SC03 (USA); Mode 10-15, Mode 11, JC08 (Japonia)), ale również pozwala na wykonywanie zarówno statycznych, jak i dynamicznych pomiarów mocy na kołach pojazdu (rys. 4, 5).

Podłoga komory i kanał fundamentu hamowni podwoziowej zaprojektowano tak, aby w przyszłości możliwe było zamontowanie drugiej rolki do badania samochodów z napędem na cztery koła. Przed hamownią podwoziową ustawiony jest wentylator (rys. 3) z silnikiem o mocy 31,4 kW, chłodzący samochód. Wentylator ten symuluje przepływ powietrza od 0 – 125 km/h, proporcjonalnie do prędkości jazdy samochodu na hamowni podwoziowej.

5. System do badań emisji spalin

Laboratorium wyposażone jest w zestaw badawczy do poboru i analizy spalin japońskiej firmy HORIBA, składający się z układu próbkowania spalin CVS-CFV wraz z tunelem rozcieńczającym, zestawu analizatorów spalin MEXA 7400 HRTLE (rys. 6) do jednoczesnego pomiaru trzech związków chemicznych (tlenek węgla, dwutlenek węgla i metan) i dwóch grup związków chemicznych (tlenki azotu, całkowite węglowodory) (rys. 7, tab. 2) oraz systemu zarządzania VETS7000NT. Worki próbkujące na próbki spalin rozcieńczonych i próbki powietrza rozcieńczającego znajdują się w zaizolowanej szafie, w której utrzymywana jest temperatura 35 °C w celu zapobieżenia skraplania próbek (rys. 8).

System poboru i rozcieńczania spalin składa się z dwóch niezależnych linii: pierwszej dla samochodów z silnikami ZI z trójnikiem mieszającym spaliny z powietrzem i drugiej dla samochodów z silnikami ZS z tunelem rozcieńczającym.

Na końcu tunelu rozcieńczającego (rys. 9) znajduje się system do masowego pomiaru emisji cząstek stałych, w

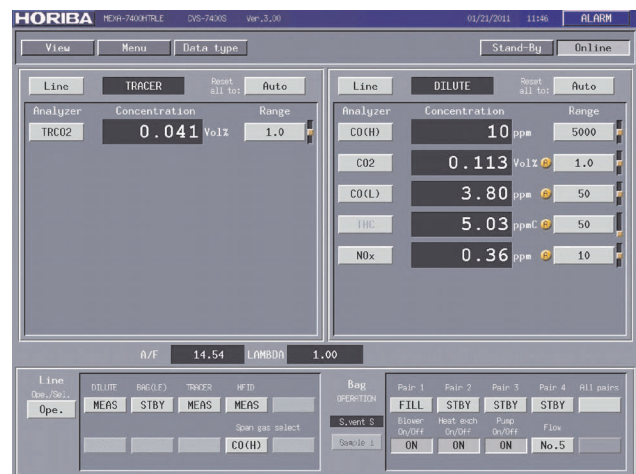


Fig. 6. Screenshot from MEXA-7400HRTLE control system, showing the tracer and dilute lines during testing on a Diesel vehicle
 Rys. 6. Okno programu sterującego pracą analizatorów spalin MEXA 7400 HRTLE – linia analizatorów spalin rozcieńczonych i analizatora mierzącego CO₂ w powietrzu rozcieńczającym

total hydrocarbons) (Fig. 7, Table 2) and a VETS7000NT management system. Sample bags for the sampling of ambient and exhaust air are housed in a heated, insulated unit maintained at 35 °C to prevent condensation (Figure 8).



Fig. 7. 7400 HTRLE emissions analysis bench
Rys. 7. Zestaw analizatorów spalin 7400 HTRLE



Fig. 8. Sample bags within insulated housing
Rys. 8. Worki próbkujące w zaizolowanej szafie

Table 2. Component detection ranges of the exhaust gas analysis system
Tabela 2. Zakresy pomiarowe analizatorów spalin

MEXA 7400 Emissions Analysis System/zestaw analizatorów spalin MEXA 7400	
Component/składnik	Range/zakres pomiarowy
CO (I line)	0 – 500 ppm
CO low (II line)	0 – 2500 ppm
CO high (II line)	0 – 12 %
CO ₂ (I line)	0 – 20 %
CO ₂ (II line)	0 – 20 %
CO ₂ (Tracer)	0 – 20 %
NO _x low (I line)	0 – 50 ppm
NO _x high (I line)	0 – 1000 ppm
NO _x low (II line)	0 – 500 ppm
NO _x high (II line)	0 – 10000 ppm
THC (I line)	0 – 50 ppmC1
THC low 1 (II line)	0 – 500 ppmC1
THC high 1 (II line)	0 – 50000 ppmC1
THC low 2 (II line)	0 – 500 ppmC1
THC high 2 (II line)	0 – 50000 ppmC1
CH ₄ (I line)	0 – 500 ppmC1

kalibrowanej przed każdym pomiarem mikrowagi oraz klimatyzowanego i filtrowanego pomieszczenia pomiarowego zapewnia bardzo dużą dokładność pomiarów masy PM, nawet dla samochodów o bardzo niskiej emisji, wyposażonych w DPF, dla których całkowita emisja PM w teście NEDC może być nawet poniżej 1 mg/km.

System zarządzania VETS7000NT (rys. 10) steruje pracą analizatorów podczas testów i analizy stężeń z worków pomiarowych, wykonuje kalibrację i przepłukiwanie analizatorów itp. System VETS wysyła również automatycznie do monitora kierowcy przebieg cyklu jezdny, wybranego spośród wymienionych wcześniej cykli. Dodatkowo system monitoruje warunki otoczenia (temperaturę, ciśnienie, wilgotność) oraz stężenie HC, CH₄, CO i O₂ w komorze, aby każdy test był bezpieczny, pewny, powtarzalny i całkowicie udokumentowany.

6. Licznik cząstek stałych

Normy Euro 5+ i Euro 6 wprowadzają nowe wymaganie – limit liczby cząstek stałych dla lekkich samochodów użytkowych z silnikami ZS i ZI [4]. Jest ono znacznie bardziej wymagające w porównaniu do limitu masy cząstek stałych [2, 4], co powoduje, że pomiary liczby cząstek stałych są

The dilution tunnel (Fig. 9) is connected to an installation for filtering diluted exhaust gas through particulate matter filters, which are weighed before and after testing to quantify emission of PM from CI and SI vehicles. The use of a calibrated microbalance and climate-controlled filter acclimatisation chamber ensure that PM mass measurement errors are kept to a minimum, even for low-emission, DPF-equipped vehicles, for which total PM emission over the entire NEDC test can be well under 1 mg/km.

Horiba VETS7000NT control software (Fig. 10) maintains the analysers and their various activities during testing and analysis of bag emissions, such as calibration, purging, etc. The VETS system automates the signal sent to the driver's aid, and includes options for testing over all the test cycles previously mentioned. Additionally, the software monitors chamber environmental parameters (temperature, pressure, humidity) as well as ambient concentrations of HC, CH₄, CO, and O₂ within the chamber to ensure that each test is safe, reliable, repeatable and thoroughly documented.

6. Particle number counter

The Euro 5+ and Euro 6 standards will introduce a particle number limit for light duty Diesel and gasoline-fuelled vehicles [4]. The fact that the particle number limit is considerably more stringent than the particle mass limit [2, 4] is significant, as this means that particle number measurements are now the main research metric for emission of solid particulates. In anticipation of this, a particle number counting system was obtained and connected to the dilution tunnel at the end of 2010. The Horiba 2000-SPCS (Solid Particle Counting System) (Fig. 11) permits the quantification of the concentration of particles in diluted exhaust at frequencies of up to 10 Hz. This unit features a wide range of dilution settings to ensure that the instrument is in range (CPC count $\leq 10\,000$ particles/cm³) for various engine-aftertreatment combinations, so that repeatable results can be obtained for CI vehicles with and without DPFs. A confirm ('Chinese hat') sampling probe, heated transfer lines (Fig. 11) and a volatile particle reducer all ensure that only solid particles enter the condensation particle counter (as required by PMP legislation [8]), and that large particles which could damage the CPC are not drawn into the sampling system. While the main purpose of the system is the fulfilment of the Euro 5+/Euro 6 particulate number limit for CI and SI vehicles, the system also archives second-by-second analysis of PM emissions, which can be compared to second-by-second data on the emission of HC, CO, NO_x, etc. to observe the combined emissions and the effectiveness of the aftertreatment system at any given operating point during the driving cycle.

Quantification of particle numbers in automotive exhaust is a more formal, rigorous metric than measuring exhaust gas opacity [13], and the system has shown good repeatability characteristics over several orders of magnitude. This PN counting facility is already being put to use in the execution of projects for various BOSMAL customers.

One of the design criteria for the laboratory was the possibility of adding extra modules to fulfil additional analytical requirements. As an example, BOSMAL will soon be able to



Fig. 9. Dilution tunnel (facing downstream)

Rys. 9. Tunel rozcieńczający

obecnie głównym przedmiotem badań dotyczących emisji cząstek stałych. Uwzględniając powyższe, z pewnym wyprzedzeniem pod koniec 2010 r. podłączono do tunelu rozcieńczającego licznik cząstek stałych. Licznik 2000-SPCS firmy HORIBA (rys. 11) pozwala na zliczanie stężenia cząstek stałych w spalinach rozcieńczonych z częstotliwością do 10 Hz. Urządzenie to umożliwia szeroki zakres wyboru stopnia rozcieńczenia spalin w celu zapewnienia zgodnych z wymaganiami (CPC $\leq 10\,000$ cząstek/cm³) wyników dla samochodów z różnymi układami oczyszczania spalin. Pozwala to na otrzymywanie powtarzalnych wyników dla samochodów z silnikami ZS zarówno z filtrami, jak i bez filtrów cząstek stałych (DPF). Stożkowa sonda próbkująca ("chiński kapelusz"), podgrzewane przewody (rys. 11) i reduktor lotnych cząstek zapewniają, że tylko cząstki stałe wchodzi do licznika cząstek kondensacji (zgodnie z wymaganiami PMP [8]), a duże cząstki, które mogłyby uszkodzić urządzenie nie dochodzą do układu pomiarowego. Głównym zadaniem urządzenia jest sprawdzenie, czy samochody z sil-

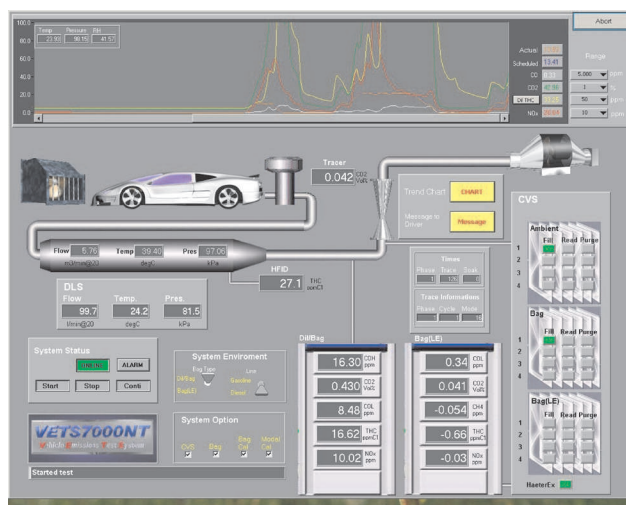


Fig. 10. Screenshot from VETS during emissions testing on a Diesel vehicle

Rys. 10. Okno programu VETS podczas testu samochodu z silnikiem ZS



Fig. 11. Dilution tunnel (looking upstream), particulate number counter sample transfer tube (blue), HFID transfer tube (black), and HORIBA 2000-SPCS PN counter (foreground)

Rys. 11. Tunel rozcieńczający, przewód do licznika cząstek (niebieski), przewód analizatora HFID (czarny) oraz licznik cząstek stałych HORIBA 2000-SPCS PN (na pierwszym planie)

perform second-by-second analysis of currently unregulated compounds, including N_2O and NH_3 . A particle size classifier could also be added to the dilution tunnel for research and development purposes which focus on fuels, CI and SI engines and particulate traps.

7. Summary

BOSMAL Automotive R&D Institute (Bielsko-Biala, Poland) is one of the major research centres in Europe specialising in research on engines and automotive components as well as complete cars. BOSMAL cooperates with many leading car and engine manufacturers to explore and launch new models of vehicles that meet increasingly stringent emission standards and assists in the development of new engine designs, reducing vehicular fuel consumption and the introduction of alternative fuels.

The state-of-the-art laboratory facilities described above permit BOSMAL's engineers to compete in the international automotive arena in the development and construction of new, more ecologically friendly and increasingly fuel efficient vehicles. The laboratory has already been put to use in a range of projects including exhaust emissions analysis, performance tests, fuel consumption tests, fuels testing and Diesel cold start testing at various temperatures. The performance of the new facility has been highly satisfactory for BOSMAL and its customers alike.

nikami ZS i ZI spełniają wymagania limitów Euro 5+/Euro 6 odnośnie do liczby cząstek stałych w spalinach. Dodatkowo urządzenie rejestruje w sposób ciągły emisję PM, która może być porównywana z rejestrowaną również w sposób ciągły emisją HC, CO, NO_x itp. Umożliwia to ocenę skuteczności działania układów oczyszczania spalin w każdym zadanym punkcie pracy silnika podczas cyklu jezdny.

Zliczanie liczby cząstek w spalinach jest bardziej formalnym i rygorystycznym oraz charakteryzującym się dużą powtarzalnością pomiarem niż pomiar nieprzeźroczystości spalin [13]. Pomiary te są już wykonywane w BOSMAL podczas badań dla różnych klientów.

Jednym z kryteriów projektowych laboratorium była możliwość zainstalowania dodatkowych urządzeń w celu spełnienia wymagań, które mogą się pojawić w przyszłości. Przykładowo, BOSMAL będzie wkrótce mógł wykonywać ciągłe analizy obecnych nienormowanych związków, takich jak N_2O i NH_3 . Klasyfikator cząstek można również dodatkowo zainstalować do tunelu rozcieńczającego w celu prowadzenia badań rozwojowych dotyczących różnych paliw, silników ZS i ZI oraz filtrów cząstek stałych.

7. Podsumowanie

Instytut Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL w Bielsku-Białej jest jednym z ważniejszych centrów badawczych w Europie, specjalizujących się w badaniach silników, poszczególnych podzespołów samochodów jak również kompletnych samochodów. BOSMAL współpracuje z wieloma czołowymi producentami samochodów i silników samochodowych przy rozwoju konstrukcji i wdrażaniu nowych modeli pojazdów spełniających coraz surowsze normy emisji związków szkodliwych spalin oraz przy opracowaniu nowych konstrukcji silników, obniżaniu zużycia paliwa przez pojazdy i wprowadzaniu paliw alternatywnych.

Nowo zbudowane, bardzo nowoczesne laboratorium badania emisji związków szkodliwych spalin, które zaprezentowano w tym artykule, umożliwia jeszcze pełniejsze uczestnictwo inżynierów BOSMAL w międzynarodowym współzawodnictwie w przemyśle motoryzacyjnym w opracowywaniu nowych, bardziej ekologicznych i energooszczędnych konstrukcji pojazdów samochodowych. Laboratorium to uczestniczyło już w wielu projektach dotyczących analizy poziomu emisji związków szkodliwych spalin różnych typów pojazdów, badaniach dotyczących osiągnięć samochodów, zużycia paliwa, badaniach paliw silnikowych i badaniach olejów napędowych w niskich temperaturach otoczenia. Funkcjonowanie laboratorium spełniło w pełni planowane założenia projektowe i jest bardzo satysfakcjonujące zarówno dla Instytutu BOSMAL, jak i dla jego klientów.

Paper reviewed/Artykuł recenzowany

Abbreviations/Skróty i oznaczenia

CARB	California Air Resources Board/ <i>Kalifornijska Rada Ochrony Powietrza</i>	SI	Gasoline direct injection/ <i>bezpośredni wtrysk benzyny</i>
CI	Compression ignition/ <i>zapłon samoczynny</i>	PM	Particulate matter/ <i>cząstka stała</i>
CVS	Constant volume sampling/ <i>próbkowanie ze stałą objętością</i>	PN	Particle number/ <i>liczba cząstek stałych</i>
DPF	Diesel particulate filter/ <i>filtr cząstek stałych</i>	PNC	Particle number counter/ <i>licznik cząstek stałych</i>
EPA	Environmental Protection Agency/ <i>Agencja Ochrony Środowiska USA</i>	ppm	Parts per million/ <i>jedna część na milion</i>
EU	European Union/ <i>Unia Europejska</i>	SI	Spark ignition/ <i>zapłon iskrowy</i>
		VETS	Vehicle emissions testing system/ <i>samochodowy system do pomiaru emisji</i>

Bibliography/Literatura

- [1] Bielaczyc P.: Exhaust pollutants and CO₂ emissions reduction as the main drivers of automobile powertrain development. Proceedings of The First International Exhaust Emissions Symposium, Bielsko-Biala, Poland, May 2010.
- [2] Bielaczyc P., Woodburn J.: Global trends in emissions regulation and reduction. Combustion Engines, 3/2010 (142), 2010.
- [3] 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. Official Journal of the European Union, L199, 1-136, 28.7.2008.
- [4] 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.
- [5] Engeljehring K.: Emission testing of modern vehicle concepts. Proceedings of The First International Exhaust Emissions Symposium, Bielsko-Biala, Poland, 20 May 2010. ISBN: 978-83-931383-0-2.
- [6] California Air Resources Board Exhaust Emission Standards and Test Procedures for 2001 and Subsequent Model Passenger Cars, Light-Duty Trucks, and Medium-Duty Vehicles. Last amended: 02.12.2009. Available online: <http://www.arb.ca.gov>
- [7] United States Code of Federal Regulations, Title 40, Chapter I, Parts 81-99, revised as of 1 July 2010. Available online: <http://ecfr.gpoaccess.gov>
- [8] United Nations Economic Commission for Europe Regulation no. 83 Series 05 Rev. 1/Add. 82/Rev. 3/Amend. 4
- [9] United Nations Economic Commission for Europe, Regulation no. 101, series 05
- [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. Official Journal L 375, 36-45.
- [11] United Nations Economic Commission for Europe Regulation No. 24, with amendments up to and including Revision 2, Amendment 3.
- [12] 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. Official Journal L 190, 1-23.
- [13] Bielaczyc P.: Development of automotive fuels and fuel test methods in response to new emissions reduction and CO₂ legislation. Euro Oil & Fuel Conference, Krakow, Poland, 24-27 November 2010.

Mr. Piotr Bielaczyc, DEng. – head of the Engine Research Department, BOSMAL Automotive Research and Development Institute Ltd in Bielsko-Biala.

Dr inż. Piotr Bielaczyc – kierownik Zakładu Badań Silników, Instytut Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL Sp. z o.o., Bielsko-Biala.

e-mail: piotr.bielaczyc@bosmal.com.pl



Mr. Piotr Pajdowski, DEng. – doctor in the Engine Research Department, BOSMAL Automotive Research and Development Institute Ltd in Bielsko-Biala.

Dr inż. Piotr Pajdowski – adiunkt w Zakładzie Badań Silników, Instytut Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL Sp. z o.o., Bielsko-Biala.

e-mail: piotr.pajdowski@bosmal.com.pl



Mr. Andrzej Szczotka, DEng. – doctor in the Engine Research Department at the BOSMAL Automotive Research and Development Institute Ltd in Bielsko-Biala.

Dr inż. Andrzej Szczotka – adiunkt w Zakładzie Badań Silników, Instytut Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL Sp. z o.o., Bielsko-Biala.

e-mail: andrzej.szczotka@bosmal.com.pl



Mr. Joseph Woodburn, MSc – researcher at the Engine Research Department, BOSMAL Automotive Research and Development Institute Ltd in Bielsko-Biala.

Mgr inż. Joseph Woodburn – inżynier ds. badań w Zakładzie Badań Silników, Instytut Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL Sp. z o.o., Bielsko-Biala.

