

## Global trends in emissions regulation and reduction (perspectives from the 1<sup>st</sup> International Exhaust Emissions Symposium)

*BOSMAL recently hosted the First International Exhaust Emissions Symposium, which featured thirteen presentations on the topics of emissions regulation and the influences this legislation exerts on test procedures, emissions reduction efforts and drivetrain technologies. Emissions test methods and facilities will have to alter to reflect the reduced emissions limits to be introduced in the near future. Emissions reduction efforts include further development of catalyst systems and the development of fuels. Biofuels and biofuel blends are key in this area. Advanced lubricants will also play a key role. The potential for synergy between these actors is evident. In addition to aftertreatment systems, drivetrain technologies such as hybrid drive and exhaust gas reformation clearly have the potential for substantial emissions reduction for a wide range of pollutant species. Automotive research is at the heart of each of these areas of development, and will be ongoing in the industry's continued efforts regarding harmful exhaust emissions.*

Key words: combustion engines, emission regulation, exhaust aftertreatment

### Światowe trendy w zakresie rozwoju norm oraz redukcji emisji związków szkodliwych spalin (na podstawie materiałów zaprezentowanych na Pierwszym Międzynarodowym Sympozjum Emisji Spalin)

*BOSMAL był gospodarzem Pierwszego Międzynarodowego Sympozjum Emisji Spalin, na którym zostało zaprezentowanych trzynaście referatów dotyczących rozwoju przepisów prawnych dotyczących ograniczania emisji związków szkodliwych spalin i ich wpływu na rozwój metod wykonywania testów emisji spalin, sposobów ograniczania emisji związków szkodliwych spalin i nowych konstrukcji w dziedzinie układów napędowych pojazdów. W niedalekiej przyszłości metody pomiaru emisji spalin, a także laboratoria i aparatura pomiarowa będą musiały sprostać zaostrzonym wymaganiom i limitom emisji związków szkodliwych spalin. Wysiłki czynione w dziedzinie redukcji zanieczyszczeń powietrza dotyczą również dalszego rozwoju układów katalitycznego oczyszczania spalin, a także rozwoju paliw. Wprowadzanie biopaliw, jak również ich mieszanin z paliwami pochodzenia mineralnego, są jednym z kluczowych kierunków w tej dziedzinie. Zaawansowane środki smarujące również pełnią ważną rolę. Potencjał jaki zawiera rozwój tych dwóch materiałów jest bardzo znaczący. Oprócz systemów oczyszczania spalin, zaawansowane technologie układów napędowych takich jak układy hybrydowe oraz ograniczanie emisji spalin z silnika mają poważny wpływ na redukcję emisji w szerokim zakresie występujących rodzajów związków szkodliwych spalin. Badania prowadzone w przemyśle motoryzacyjnym pełnią decydującą rolę dla rozwoju każdej z tych dziedzin i są nieprzerwanie prowadzone w celu ograniczenia szkodliwej emisji ze źródeł motoryzacyjnych.*

Słowa kluczowe: silnik spalinowy, normy emisji spalin, układy oczyszczania spalin

### Introduction

The main drivers that have an influence on current and future personal transportation development are:

- climate change as the biggest environmental challenge: strong action dedicated to the contribution of the transport sector to the reduction of greenhouse gas emissions, global CO<sub>2</sub> legislation targets for new passenger cars (PC) and light commercial vehicles (LCV);
- emissions regulation development at European, US and Asian levels, regulation as an incentive for innovation (examples: Euro 5 and Euro 6, US Tier 2, LEV II-SULEV, 2009 Japanese long-term regulations, new hydrogen vehicle regulations, etc).

Road transport emissions are responsible for around 20 per cent of all greenhouse gas emissions in the European Union. In 2009 the EU revealed a package of energy-related legislation concerning improvements in vehicle fuel efficiency and the composition of the range of transport fuels.

### Wprowadzenie

Głównymi czynnikami mającymi wpływ na obecny i przyszły rozwój środków transportu są:

- zmiana klimatu jako największe wyzwanie dla ochrony środowiska: duży nacisk skierowany na wkład sektora transportowego w redukcję emisji gazów cieplarnianych, globalne przepisy dotyczące ograniczania emisji CO<sub>2</sub> dla nowych samochodów osobowych (PC), a także lekkich samochodów użytkowych (LCV);
- rozwój norm dotyczących ograniczania emisji związków szkodliwych na rynkach europejskim, amerykańskim oraz azjatyckim, regulacje prawne jako zachęta do innowacyjności (przykład: Euro 5 i Euro 6, US Tier 2, LEV II-SULEV, Japońskie długoterminowe normy emisji 2009, regulacje dotyczące nowych samochodów zasilanych wodorem, itd.).

Emisja pochodząca z transportu drogowego stanowi około 20% całkowitej emisji gazów cieplarnianych w Unii Europejskiej. W 2009 roku Unia Europejska wydała pakiet

At the First International Exhaust Emissions Symposium, experts from automotive and engine manufacturers and their suppliers discussed all these emissions-related issues and reported on the status quo, current trends and the near future regarding IC engine exhaust gas emissions. Attendees shared and gained knowledge about a variety of subjects related to gaseous and particulate matter emissions; emissions legislation trends; emissions testing methods and equipment; development trends in vehicular technology concerning improvements in emissions results and fuel consumption; the composition of transport fuels and their influence on emissions; development of engine oils; biofuels and their role in future fuel blends. This symposium, held over 20-21 May 2010, was hosted at BOSMAL Automotive Research and Development Institute Ltd, in Bielsko-Biala, Poland. On Thursday 20 May, delegates from twenty-seven organisations, representing between them seven different countries, presented papers in four sessions covering the following areas: *emissions legislation and test method development, catalyst technology and emissions reduction methods, and engine fuel and oil development.*

The symposium was opened by BOSMAL President Dr Antoni Swiatek. In his opening address, he mentioned how regulation of exhaust emissions had been a crucial driver of the development of combustion engines, and that this driver would continue to be of great importance in the future too.

After opening the conference session, BOSMAL's Dr Piotr Bielaczyc delivered the first presentation of session one. This session, chaired by Dr Bielaczyc, focused on emissions legislation and its role as a driver for drivetrain development and testing. (Figs. 1 and 2). The other speakers were Les Hill (Horiba Europe), Kurt Engeljehringner (AVL) and Rudi Kreuzer of Weiss.

This first session was followed by the opening ceremony of BOSMAL's new Euro 5/6 emissions testing laboratory, located inside a climatic chamber of volume 620 m<sup>3</sup> (Figs. 4 and 5). This facility – one of only a handful in Europe – enables the execution of emissions and performance tests at ambient temperatures ranging from -35°C to +60°C, with high thermal stability. Within the chamber, an AVL single

rozwiązań legislacyjnych związanych ze zmniejszeniem zużycia paliwa, a także składem paliw stosowanych w transporcie.

Podczas Pierwszego Międzynarodowego Sympozjum Emisji Spalin, eksperci z przemysłu motoryzacyjnego, przedstawiciele producentów silników spalinowych, a także ich dostawcy dyskutowali o wszystkich kwestiach związanych z emisją związków szkodliwych spalin ze źródeł motoryzacyjnych a także wymieniali spostrzeżenia odnośnie obecnego stanu prawnego, aktualnych trendów oraz niedalekiej przyszłości dotyczącej problemu zanieczyszczeń spalin z silników spalinowych. Uczestnicy sympozjum dzielili się wiedzą dotyczącą wielu zagadnień związanych z lotnymi i stałymi składnikami spalin, trendów w dziedzinie zaostrzania przepisów i norm dotyczących dopuszczalnej emisji, metod badawczych emisji spalin oraz wyposażenia laboratoriów badawczych, kierunków rozwoju w transporcie kołowym skierowanych na ograniczenie zużycia paliwa oraz obniżanie emisji związków szkodliwych, składu paliw używanych w transporcie drogowym i ich wpływu na poziom emisji, polepszenia olejów silnikowych, biopaliw i ich przyszłego zastosowania w produkcji paliw płynnych.

Sympozjum zorganizowane przez Instytut Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL odbyło się w dniach 20-21 maja 2010 roku w Bielsku-Białej. 20 maja delegaci z 27 firm i instytucji, wywodzący się z siedmiu różnych krajów, prezentowali referaty w czterech sesjach dotyczących następujących zagadnień: *przepisy prawne i metody badawcze emisji składników szkodliwych spalin, technologie systemów katalizacyjnego oczyszczania spalin oraz metody redukcji emisji, trendy rozwojowe paliw i olejów silnikowych.*

Sympozjum zostało zainaugurowane przez dyrektora BOSMAL dr hab. inż. Antoniego Świątka. W swoim wystąpieniu na ceremonii otwarcia, wspominał on jak kluczową rolę odgrywają regulacje dotyczące norm emisji spalin w rozwoju silników spalinowych oraz jak ważną rolę będą one nadal odgrywać w przyszłości.

Po przedstawieniu programu naukowego sympozjum, dr inż. Piotr Bielaczyc przedstawił pierwszą prezentację w I sesji sympozjum. Sesja ta skupiała się na zagadnieniach



Fig. 1. A presentation being delivered during the first Symposium session

Rys. 1. Prezentacja referatu podczas pierwszej sesji sympozjum



Fig. 2. A presentation being delivered during the first Symposium session

Rys. 2. Referat przedstawiony przez Kurta Engeljehringera z AVL podczas pierwszej sesji sympozjum



Fig. 3. Les Hill of HORIBA Europe being presented with a certificate for his contribution

*Rys. 3. Les Hill z firmy HORIBA Europe wyróżniony dyplomem za przedstawiony referat*



Fig. 4. Delegates at the opening ceremony of BOSMAL's Euro 5/6 emissions testing laboratory

*Rys. 4. Uczestnicy sympozjum podczas ceremonii otwarcia nowego laboratorium emisji Euro 5/6 BOSMAL*

roll chassis dynamometer of maximum power 258 kW is installed, along with a high-capacity ventilation system. The laboratory features high accuracy temperature and humidity monitoring systems, capable of maintaining the desired temperature and humidity levels to within  $\pm 1.2^{\circ}\text{C}$  and  $\pm 5$  per cent, respectively, during emissions tests. Wind-speed simulation and exhaust extraction equipment which satisfy the demands of the proposed Euro 6 legislation are also installed. The laboratory boasts an analysis system

związanych z rozwojem ustawodawstwa w obszarze norm ograniczania emisji związków szkodliwych spalin oraz nowych testów emisji spalin i jego wpływu na rozwój przemysłu motoryzacyjnego (rys. 1 i 2). Kolejnymi prezydentami w tej sesji byli Les Hill (Horiba Europe), Kurt Engeljehringler (AVL, Austria) i Rudi Kreuzer (Weiss, Niemcy).

Po zakończeniu pierwszej sesji technicznej nastąpiła ceremonia otwarcia nowego laboratorium badania emisji spalin Euro 5/6, umieszczonego wewnątrz komory klimatycznej o

pojemności  $620\text{ m}^3$  (rys. 4 i 5). Obiekt ten – jeden z najnowocześniejszych w Europie – umożliwi wykonanie testów emisji związków szkodliwych spalin i pomiaru osiągnięć samochodu w zakresie temperatur otoczenia od  $-35^{\circ}\text{C}$  do  $+60^{\circ}\text{C}$ , z wysoką stabilnością temperatury. Wewnątrz komory zainstalowano jednorolkową hamownicę podwoziową firmy AVL o mocy maksymalnej 258 kW, wraz z wysoko wydajnym systemem wentylacyjnym. Laboratorium posiada systemy monitoringu temperatury i wilgotności o dużej dokładności pozwalających utrzymywać pożądany poziom temperatury i wilgotności podczas testów emisji z dokładnością odpowiednio  $\pm 1,2^{\circ}\text{C}$  i  $\pm 5\%$ . Zastosowany wentylator nadmuchiwy symulujący opór powietrza oraz wyciąg spalin spełniają wymagania przyszłej normy emisji spalin Euro 6. Laboratorium jest wyposażone w system do analizy spalin firmy HORIBA, składający się z systemu pomiarowego i próbkującego



Fig. 5. Internal view of BOSMAL's new Euro 5/6 emissions testing laboratory, within a  $620\text{ m}^3$  climatic chamber

*Rys. 5. Komora klimatyczna nowego laboratorium badania emisji Euro 5/6*

from HORIBA, consisting of a CVS-CFV sampling system together with an exhaust dilution tunnel, a set of MEXA 7400 HRTLE exhaust analysers and a VETS management system. Dr Świątek warmly thanked variously firms who

go spaliny typu CVS-CFV wraz z tunelem do rozcieńczania spalin, zestawu analizatorów spalin MEXA 7400 HRTLE i systemu sterującego pomiarami VETS. Dr Świątek serdecznie podziękował firmom, które były zaangażowane w



Fig. 6. BOSMAL's Dr Świątek presenting a commemorative plaque to Roland Steyh of Weiss

*Rys. 6. Dr hab. A. Świątek wręczający pamiątkowe wyróżnienie Rolandowi Steyh z firmy WEISS*



Fig. 7. BOSMAL's Dr Świątek presenting a commemorative plaque to Rudolf Moerkl of HORIBA

*Rys. 7. Dr hab. A. Świątek wręczający pamiątkowe wyróżnienie Rudolfowi Moerkl z firmy HORIBA*

had been central to the development and implementation of the new laboratory. Delegates from AVL of Austria, Weiss of Germany, HORIBA's Austrian division and Multiform and Linde Gas of Poland were presented with plaques inscribed with letters of gratitude for services rendered (Figs. 6 and 7). These delegates were also all invited to participate in the cutting of the ribbon which marked the formal opening of the new laboratory (Fig 8 and 9).

Attendees later participated in further sessions. The second session, focussing on emissions reduction strategies and the technology required for those strategies (advanced catalyst systems, hybrid systems), was chaired by Prof. Jerzy Merkisz (Poznan Technical University and BOSMAL, Poland.) The final two sessions were devoted to fuels and lubricants and their roles in reducing harmful exhaust emissions from modern vehicles. These sessions were chaired by Prof. Mirosław Wyszynski (Birmingham University, UK) and Dr Andrzej Szczotka (BOSMAL, Poland), respectively. Presentations featured in these sessions included contributions from leading automotive and fuels companies, including Fiat Powertrain Technologies, GM Powertrain Europe, ENI, Petronas and PKN Orlen. All

budowę i wyposażenie nowego laboratorium. Delegaci z firm: AVL z Austrii, Weiss z Niemiec, HORIBA z Austrii oraz Multiform i Linde Gaz Polska zostali uhonorowani pamiątkowymi dyplomami jako podziękowanie za wykonane prace (rys. 6 i 7). Wymienieni delegaci brali również udział w przecięciu wstęgi w czasie otwarcia nowego laboratorium badania emisji spalin (rys. 8 i 9).

Po ceremonii otwarcia nowego laboratorium badania emisji uczestnicy sympozjum uczestniczyli w dalszych sesjach naukowych. Sesji drugiej, która dotyczyła ograniczania emisji związków szkodliwych spalin i metod oraz rozwiązań technicznych wprowadzanych dla ograniczania tej emisji (zaawansowane systemy reaktorów katalitycznych, napędy hybrydowe) przewodniczył prof. Jerzy Merkisz (Politechnika Poznańska i Instytut BOSMAL). Dwie końcowe sesje były poświęcone paliwom i olejom silnikowym i ich roli w ograniczaniu szkodliwej emisji spalin z nowoczesnych pojazdów. Tym sesjom przewodniczyli prof. Mirosław Wyszynski (Birmingham University, Anglia) i dr Andrzej Szczotka (BOSMAL). Prezentacje referatów w tych sesjach były przeprowadzone przez przedstawicieli czołowych firm



Fig. 8. AVL's Werner Moser at the ribboncutting ceremony for BOSMAL's Euro 5/6 climatic chamber

*Rys. 8. Werner Moser z AVL podczas ceremonii przecięcia wstęgi z okazji otwarcia nowego laboratorium badania emisji Euro 5/6*



Fig. 9. BOSMAL President Dr Antoni Świątek at the ribbon-cutting ceremony for BOSMAL's Euro 5/6 climatic chamber

*Rys. 9. Dyrektor BOSMAL dr hab. inż. Antoni Świątek podczas ceremonii przecięcia wstęgi z okazji otwarcia laboratorium badania emisji Euro 5/6*

sessions generated a number of pertinent questions posed to the speaker following the presentations. Questions covered both the material presented, and the implications of trends, effects and concepts described within each paper. A total of thirteen papers were presented, between them forming a detailed, profoundly technical examination of current progress towards mitigating exhaust emissions and what technologies and actors can be expected to play an increased role in this area in the future. All speakers were presented with certificates commemorating their contribution to the symposium (Fig. 3). Later that evening, participants were hosted at a dinner and social event in the Beskidy mountains. Feedback from those attending the symposium was very positive, and given the level of interest shown by so many key players in the automotive industry, BOSMAL hope to organise similar events in future years.

In order to document the symposium in a format that was simultaneously conveniently compact and sufficiently detailed, paper abstracts were prepared independently by symposium participants from BOSMAL's staff, and are presented below, along with one key slide from each presentation.

### Abstracts and selected key slides

#### ***Exhaust Pollutants and CO<sub>2</sub> Emissions Reduction as the Main Drivers of Automobile Powertrain Development – Dr Piotr Bielaczyc, BOSMAL, Poland***

Of the many sources of energy on Earth, fossils fuels dominate in terms of current energy consumption. The transportation sector is characterised by near-total reliance on fossil oil as an energy source. Projections for total global energy demand, based on predictions for future population growth, imply that global energy demand could double by the year 2050. The share of energy consumed in the transport sector is significant, and is increasing year on year; there are currently 260 million light duty (LD) passenger vehicles in Europe alone – one for every two Europeans. All these vehicles emit both carbon dioxide and harmful exhaust gases, along with particulate matter in many cases.

It is the regulation of these outputs that are the main drivers of powertrain development (Fig. 10) – CO<sub>2</sub> emissions reduction legislation and emissions regulatory development at European, US and Asian levels. These two drivers were identified as likely to cause both an increasing share of Diesel/CNG/LPG engines in the market, and further significant development of fuels containing lower amounts of carbon. The introduction of new engine/aftertreatment technologies was also identified as an important result of these drivers.

Reduction of CO<sub>2</sub> emissions is dependent on a reduction in fuel consumption, which is a worthy goal for multiple reasons. The main health effects of certain well-known (e.g. PM) and lesser-known (e.g. nitro-PAH) exhaust outputs vary widely in nature and severity, but all are deserving of attention and will be increasingly targeted in future legislative moves. Emissions regulation also generates new test procedures and test cycles. A recent example of great significance is Japan's new JC08 cycle. Such procedures and cycles will be increasingly stringent, and require test facilities of much

z przemysłów motoryzacyjnego i paliwowego jak FPT, GM Powertrain Europe, ENI, Petronas i PKN Orlen. W czasie wszystkich sesji była prowadzona dyskusja z autorami referatów na temat prezentowanych trendów, koncepcji, rozwiązań konstrukcyjnych i możliwych do uzyskania efektów. Łącznie zostało zaprezentowanych 13 referatów, między innymi przedstawiających szczegółowe scenariusze w ograniczaniu emisji związków szkodliwych spalin, jakie rozwiązania techniczne i w jakich krajach wprowadzane, będą odgrywały decydującą rolę w tej dziedzinie.

Autorzy referatów zostali uhonorowani pamiątkowymi dyplomami za ich wkład w program naukowo-techniczny (rys. 3). Po zakończeniu programu naukowego sympozjum uczestnicy sympozjum zostali zaproszeni na wspólne spotkanie koleżeńskie w górach Beskidach.

Opinie prezentowane ze strony uczestników sympozjum były bardzo pozytywne, a chęć uczestnictwa w sympozjum spotkała się dużym zainteresowaniem ze strony ważnych przedstawicieli przemysłu motoryzacyjnego. BOSMAL planuje organizację podobnych spotkań w kolejnych latach.

Na podstawie materiałów zaprezentowanych na sympozjum zostały przygotowane i zaprezentowane poniżej streszczenia prezentowanych referatów, zawierające najistotniejsze informacje oraz slajdy z każdej prezentacji.

### Streszczenia referatów

#### ***Ograniczanie emisji związków szkodliwych spalin i emisji CO<sub>2</sub> jako główne czynniki wpływające na rozwój przemysłu motoryzacyjnego – Piotr Bielaczyc, BOSMAL***

Pośród wielu źródeł energii występujących na ziemi, dominuje konsumpcja paliw kopalnych jako głównego źródła energii. Sektor transportowy charakteryzuje się prawie całkowitym uzależnieniem od ropy naftowej jako źródła do produkcji paliw. Przewidywania dotyczące światowego zapotrzebowanie energii, bazujące na trendach zwiększenia liczebności przyszłych populacji, wskazują, iż światowe zapotrzebowania w energię może być dwukrotnie zwiększone do roku 2050.

Udział energii zużywanej przez sektor transportowy jest znaczący i zwiększa się z roku na rok. Obecnie w Unii Europejskiej jest użytkowanych się 260 milionów samochodów osobowych, jeden pojazd przypada na dwóch Europejczyków. Wszystkie te pojazdy emitują dwutlenek węgla i szkodliwe składniki spalin, i w wielu przypadkach cząstki stałe.

Istotne jest regulowanie tych zagadnień, które są głównymi czynnikami pobudzającymi rozwój motoryzacji (rys. 10) – przepisy regulujące dopuszczalną emisję CO<sub>2</sub> oraz rozwój norm określających poziom emisji związków szkodliwych spalin w Europie, USA oraz Azji. Te dwa czynniki są uważane za prawdopodobnie główną przyczynę wzrastającego udziału w strukturze rynku silników napędzanych olejem napędowym, gazem ziemnym (CNG), bądź gazem propan-butan (LPG), a także znaczny wpływ na rozwój paliw zawierających zmniejszona zawartość węgla. Wprowadzenie nowych konstrukcji silników i układów katalitycznego oczyszczania spalin jest także uznawane jako ważny rezultat oddziaływania tych czynników.

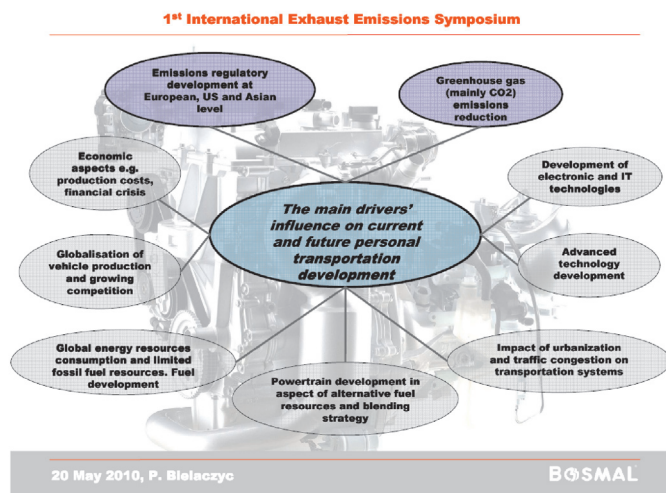


Fig. 10. Drivers influencing LD vehicle development

Rys. 10. Czynniki wpływające na rozwój konstrukcji pojazdów samochodowych

an altogether different level of sophistication. While passenger cars account for only 7 per cent of global anthropogenic CO<sub>2</sub> emissions, legislators have had the automotive industry as a target for some time. A 120-130 g/km limit is planned for the EU for 2015, and an ambitious figure of 95 g/km has been proposed for 2020. Recent trends, and the 2009 EU fleet average of 154 g/km imply that meeting these targets will be extremely difficult. Modifications to existing drivetrains, tyres, aerodynamics etc could deliver substantial benefits, but these alone would fall short of the 95 g/km target. As the amount of CO<sub>2</sub> emitted depends on the carbon content of the fuel combusted, fuels with lower carbon:hydrogen ratios are of great interest. Adaptation of drivetrains to enable efficient, clean usage of such fuels is a major driver of powertrain development.

Fossil fuels will likely remain as the dominant energy source until at least the year 2030, but by this time highly refined spark ignition and compression ignition engines will be the dominant sources of drive. Hybrid drivetrains will play an increasingly important role. Global anthropogenic CO<sub>2</sub> emissions will continue to rise, and the rate of increase will in fact accelerate, fuelled mainly by population growth in developing nations. In the automotive industry, the development of alternative and biofuels is the right course to take towards reduction of emissions of CO<sub>2</sub> and exhaust pollutants. Such strategies have profound implications for the drivetrains of the near future.

#### **Future Trends in Emissions Certification Legislation and some Implications for Measurement Techniques – Les Hill, Horiba Europe, UK**

The last forty years have seen substantial progress made towards reducing exhaust emissions, but key challenges remain and will likely be caused by future legislation in this area. Recent legislation has introduced real-world drive cycles, off-cycle limits, increased vehicle durability (equivalent to up to around fifteen years' usage in the case of Californian legislation), particle number (PN) limits, and significant fines

Redukcja emisji CO<sub>2</sub> uzależniona jest od zmniejszenia zużycia paliwa, które jest ważnym celem z wielu powodów. Negatywny wpływ na zdrowie kilku dobrze poznanych (np. cząstki stałe) i gorzej poznanych (np. nitro-WWA) składników gazów spalinywych znacznie się różni pod względem występowania i pod względem szkodliwości na zdrowie ludzkie, ale wszystkie one zasługują na uwagę i w przyszłości będą głównymi obiektami zmian w regulacjach ustawowych. Przepisy dotyczące ograniczania emisji wymuszają opracowanie nowych procedur testów badawczych i cykli jezdnych. Ostatnim znaczącym przykładem jest nowy japoński test jezdny JC08. Procedury badawcze, a także testy jezdne będą coraz ostrzejsze i wymagać będą zdecydowanie bardziej zaawansowanych metod pomiarowych i laboratoriów badawczych.

Pomimo faktu, iż samochody osobowe odpowiadają jedynie za 7 procent globalnej emisji CO<sub>2</sub> pochodzenia antropogenicznego, od jakiegoś czasu ustawodawcy skupili się na działaniach dotyczących właśnie przemysłu motoryzacyjnego. Planuje się w krajach Unii Europejskiej wprowadzenie limitu emisji CO<sub>2</sub> na poziomie 120-130 g/km w roku 2015, zaproponowano także bardzo ostry limit wynoszący 95 g/km do roku 2020. Obecne kierunki rozwoju i średnia emisji dla floty pojazdów w krajach UE w 2009 roku powoduje, iż osiągnięcie tych celów może okazać się bardzo trudne. Modyfikacja istniejących układów napędowych, opon, aerodynamiki itp. umożliwia uzyskanie jedynie niewielkich korzyści, nie gwarantując jednak na znaczne zbliżenie się do spełnienia limitu 95 g/km. Z racji na dużą zależność emitowanego CO<sub>2</sub> od zawartości węgla w spalanej paliwie, paliwa o niższym współczynniku węgla:wodór stanowią obecnie obiekt znacznego zainteresowania. Zaadaptowanie systemów napędowych umożliwiających efektywne i czyste wykorzystanie tych paliw stanowi główny kierunek rozwoju przemysłu silnikowego.

Paliwa pochodzenia mineralnego prawdopodobnie pozostaną dominującym źródłem energii przynajmniej do roku 2030, ale do tego czasu głównymi źródłami napędu będą udoskonalone silniki spalinyowe o zapłonie iskrowym i samoczynnym. Napęd hybrydowy będzie odgrywał coraz to bardziej znaczącą rolę. Globalna emisja CO<sub>2</sub> pochodzenia antropogenicznego będzie nadal wzrastać, a tempo tego wzrostu będzie większe, powodowane wzrastającą liczbą ludności w krajach rozwijających się. W przemyśle motoryzacyjnym, rozwój paliw alternatywnych i biopaliw jest właściwą drogą prowadzącą do zmniejszenia emisji CO<sub>2</sub> i zanieczyszczenia gazami spalinyowymi. Ta strategia będzie miała znaczący wpływ na rozwój systemów napędowych w najbliższej przyszłości.

#### **Kierunki rozwoju przepisów homologacyjnych dotyczących ograniczania emisji związków szkodliwych spalin i ich wpływ na techniki pomiarowe – Les Hill, Horiba Europe, Anglia**

Przez ostatnie 40 lat dokonano znaczącego postępu w dziedzinie zmniejszenia emisji gazów spalinywych, ale

for non-compliance. The introduction of such fines (€95 per gCO<sub>2</sub>/km per vehicle by 2020) for exceeding emission limits would multiply up to extremely significant sums for large-volume manufacturers active in the EU. Manufacturers will demand results that are more accurate and reproducible than ever before, because of the serious financial implications of any slight overestimation of exhaust emission levels.

The very structure of US emissions legislation has been altered. There are now standard-setting parts for each category, and a common test procedures section by application type. The 1065 was the first of these, for testing HD engines; the 1066 for LD vehicles, which may be released in 2011, is likely to be very similar. The 1065 has met accusations of being unspecific and not using international units. This document is currently still undergoing final editing, even after release – made possible due to the fact that all documentation of this type is now released online. The 1065 has been identified as having profound implications for laboratory design and instrumentation, most notably in the following areas: emissions measurement equipment (CVS, emissions analysers, PFDS etc); test cell configuration; test automation systems and data reporting; and requiring a significant number of analyser/system verifications with increased quality assurance.

#### New Or Modified Analytical Techniques HORIBA Analytical Test Systems

- Future requirements for certification may require new compounds for measurement
  - NH<sub>3</sub> (for active NO<sub>x</sub> reduction methods)
  - NO<sub>2</sub> (to reduce the concentration at roadside)
    - Cannot be measured from CVS bag
  - N<sub>2</sub>O (Greenhouse Gas measurement)
    - Very low emission from vehicle  
0.3 ppm in dilution air  
low concentration in CVS bag ~ 1 ppm
    - High interference from other compounds (CO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub> etc)
  - Expanded requirement for alcohols and carbonyl compounds ?
    - Ethanol, methanol, acetaldehyde, formaldehyde, acetone etc
    - On-line direct measurement technique would be an advantage



Fig. 11. Implications of emissions legislation for analytical techniques  
Rys. 11. Wpływ ustawodawstwa dotyczącego emisji związków szkodliwych na technikę analityczną

Euro 6 legislation introduces particle number standards, which must not be measured from raw exhaust gas, and so several implications for particle number measuring equipment become apparent in light of this (Fig. 11). Significantly, the PN standard effectively tightens the PM mass specification, as the number specified equates to a mass lower than specified in the regulation. Second-by-second PN measurement requires high precision equipment and various pre-sampling treatment processes.

In recognition of the increasingly important role hybrid drivetrains play in efforts to reduce fuel consumption and emissions at low vehicle speeds, hybrid-specific testing procedures for both light- and heavy-duty applications have been specified. Potential problems with CVS systems and gas dilution with air have been identified.

główne wyzwania pozostały i będą przyczyną dalszego rozwoju ustawodawstwa w tej dziedzinie.

Obecne ustawodawstwo wprowadziło cykle jezdne zbliżone do rzeczywistych, limity emisji w tych cyklach czy przedłużenie czasu użytkowania pojazdu gdy jego emisja jest niższa od limitu (równowartość około piętnastu lat użytkowania w przypadku ustawodawstwa kalifornijskiego), limit liczby cząstek (PN) i znaczące kary za niepodporządkowanie się tym przepisom. Wprowadzenie tych kar (€95 za każdy dodatkowy gram CO<sub>2</sub>/km, za każdy samochód do 2020 roku) za przekraczanie dopuszczalnych limitów emisji może wielokrotnie się do olbrzymiej sumy dla dużych producentów samochodów aktywnych w Europie. Producenci pojazdów będą żądali od konstruktorów rozwiązań, które są bardziej zaawansowane i możliwe do wdrożenia niż wcześniej, z uwagi na znaczne problemy finansowe powstałe w wyniku jakiegokolwiek przeszacowania poziomu emisji gazów spalinowych.

Rzeczywista struktura ustawodawstwa w USA dotyczącego ograniczania szkodliwych emisji została zmieniona. Obecnie wykorzystuje się usystematyzowane elementy dla każdej kategorii pojazdu i wspólną sekcję procedur testowych dla wszystkich typów pojazdów.

Norma badawcza CFR1065 służy do testów silników pojazdów ciężarowych; norma CFR1066 przeznaczona dla samochodów osobowych, która ma być przedstawiona w 2011 roku, prawdopodobnie będzie bardzo podobna. Norma CFR 1065 spotkała się z krytyką, iż jest niesprecyzowana i nie używa międzynarodowych jednostek. Obecnie trwają nadal prace nad tym dokumentem, nawet po jego wprowadzeniu – jest to możliwe z racji na fakt, iż wszystkie dokumenty tego typu wprowadzane są w sposób ciągły. Procedura 1065 wymusiła głębokie zmiany w projektowaniu laboratoriów i aparatury badawczej, najbardziej w następujących obszarach: sprzętu do pomiaru emisji (CVS, analizatory do pomiarów poziomu emisji, PFDS itp.); wyposażeniu laboratoriów badawczych, systemach automatyzacji testów badawczych i przedstawiania danych; wymaga dodatkowo znaczącej liczby analiz i systemów weryfikacyjnych, które podniosły dokładność uzyskiwanych wyników.

Norma Euro 6 wprowadza limity emisji liczby cząstek stałych, których nie wolno mierzyć w nierozcieńczonych gazach spalinowych, jak również wprowadza kilka znaczących wymagań dotyczących aparatury badawczej do pomiaru cząstek stałych (rys. 11). Znaczącym jest, iż pomiar liczby cząstek stałych (limit PN) zaostrza również masową specyfikację cząstek stałych PM, ponieważ liczba wyróżnia też cząsteczki o znacznie mniejszej masie. Sekundowy Pomiar PN z krokiem 1 sekunda wymaga precyzyjnego sprzętu pomiarowego i specjalnych procesów przygotowania próbek.

W uznaniu wzrastającego znaczenia napędów hybrydowych w działaniach prowadzących do zmniejszenia zużycia paliwa i emisji przy niższych prędkościach pojazdu, określono procedury testowe uwzględniające specyfikę napędu hybrydowego, zarówno dla samochodów osobowych jak i ciężarowych. Przy tych pomiarach mogą wystąpić potencjalne problemy z systemami poboru spalin CVS i rozcieńczeniem gazów spalinowych powietrzem.

The globalisation of test cycles and procedures, as currently under development by the WLTP was highlighted. The EPA now plays a role in the regulation of greenhouse gas emissions, and EPA car and truck CO<sub>2</sub> reduction curves have been released.

Various compounds have been introduced in recent legislation, or are possible future targets. Nitrous oxide has been identified as a species emitted in low concentrations which is already regulated in certain markets and may be of importance in the EU in the future. Interference from other compounds is known to be an issue with N<sub>2</sub>O, as are detection limits for this trace exhaust emission component. EPA legislation requires the use of PLOT columns in gas chromatograph analysers. Laser technology could play a role in the detection of multiple compounds, and current designs could be improved with the aid of quantum cascade technology, switching to the mid-IR band and thereby enabling detection limits as a low as 2 ppb.

#### **Emission Testing of Modern Vehicle Concepts – Kurt Engeljehringer, AVL, Austria**

While progress has been made in reducing CO<sub>2</sub> emissions in the EU fleet, the 2008 target had not been achieved by January 2009. This was instrumental in the creation of the highly ambitious proposed 2020 target of 95 g/km. Recent and forthcoming legislative measures regarding the reduction of greenhouse gases (including, but not limited to, CO<sub>2</sub>) will have a significant impact on test procedures and facilities.

Air quality legislation has recently come into focus as a highly significant factor in acceptable levels of exhaust emissions. Concern over concentrations of various noxious gases in the ambient air in certain European cities has led to the adoption of air quality standards. In monitoring these standards, on-road testing and roadside testing will play an increasingly important role. NO<sub>2</sub> will be of increasing importance, thanks to efforts to keep concentrations of this gas low and maintain air quality. Air quality legislation introduced at local level (i.e. city legislation) will dramatically alter buying habits, as this may in effect determine whether it is possible to drive a vehicle in a certain area.

The introduction of the Euro 5 & 6 regulations not only tightens existing limits for various exhaust components; they also introduce PM number counting (in addition to total mass) and particulate matter limits for GDI engines. Facilities for accurately sampling and measuring these outputs must be included in facilities designed to test to these standards (Fig. 12).

New US CFR documentation amends somewhat the requirements of any installation used for certification according to EPA standards. Current planned investments in test bed facilities, both for engines and for vehicles, should factor in the requirements of these documents, so as to avoid costly upgrades/replacements in the future. CFR standards do allow the use of alternative procedures, but acceptance of such procedures is dependent upon statistical proof of accuracy and reproducibility, which can be hard to provide. CFR regulations include stipulations relating to units (calculations are based on moles); performance (based on

Harmonizacja testów i może być znaczące również w krajach UE w przyszłości. Zakłócenia pochodzące od innych związków chemicznych są problemem przy określeniu emisji N<sub>2</sub>O, gdyż granice wykrywalności dla tak śladowych emisji są zbyt duże. Norma wprowadzona przez agencję EPA wymaga użycie kolumny PLOT w chromatografii gazowej służącej do analizy gazów spalinowych. Technologia laserowa może odegrać znaczącą rolę w wykrywaniu skomplikowanych związków chemicznych, a obecne procedury badawczych, nad którą pracuje obecnie WLTP, jest również godna uwagi. Amerykańska Agencja Ochrony Środowiska EPA odgrywa znaczącą rolę w ustawodawstwie dotyczącym emisji gazów cieplarnianych, czego efektem jest wydanie przez tę agencję wymagań dotyczących redukcji CO<sub>2</sub> emitowanego przez pojazdy osobowe i ciężarowe.

Limity dla różnych związków chemicznych zostały wprowadzone w obecnym ustawodawstwie lub są możliwymi celami na przyszłość. Emisja tlenków azotu została określona została jako grupa związków emitowanych w niskim stężeniu, ta emisja podlega ograniczeniu na kilku rynkach i jej ograniczenie konstrukcje mogą być ulepszone przy pomocy technologii układów kaskadowych, przełączając się do średniego pasma promieniowania podczerwonego i tym samym umożliwiając wykrywanie limitów tak małych jak 2 ppb (części na miliard).

#### **Badania emisji dla nowoczesnych typów samochodów – Kurt Engeljehringer, AVL, Austria**

Pomimo uzyskania znacznej redukcji CO<sub>2</sub> we flocie samochodów w UE, cel założony na 2008 rok nie został osiągnięty do stycznia 2009 roku. To odgrywało znaczącą rolę w kształtowaniu wysokich wymagań zaproponowanych do roku 2020 na poziomie 95 g/km. Ostatnie i zbliżające się limity emisji dotyczące redukcji gazów cieplarnianych (dotyczące nie tylko CO<sub>2</sub>) będą mieć znaczący wpływ na procedury pomiarowe tej emisji oraz wyposażenie badawcze.

Wymagania dotyczące jakości powietrza stają się ostatnio bardzo znaczącym czynnikiem w akceptowalnym poziomie emisji związków szkodliwych spalin. Obawy związane z koncentracją różnych związków szkodliwych w powietrzu atmosferycznym w niektórych krajach europejskich, prowadzą do ustalenia standardów odnośnie jakości powietrza. Testy drogowe oraz pozadrogowe odgrywają coraz ważniejszą rolę w kontrolowaniu tych wymagań. Emisja NO<sub>2</sub> stawać się będzie coraz ważniejszą kwestią, dzięki wysiłkom utrzymywania koncentracji tego gazu na niskim poziomie oraz zapewnienia odpowiedniej jakości powietrza. Rozwiązania prawne dotyczące jakości powietrza na poziomie lokalnym (wymagania obowiązujące w miastach) zmieniają zasadniczy sposób nawyki kierowców, i mogą w praktyce określać czy jest możliwe użytkowanie danego pojazdu w określonym terenie.

Wprowadzenie norm emisji Euro 5 i 6 nie tylko zaostrza obowiązujące limity dla wielu składników spalin, lecz również wprowadza limit liczby cząstek stałych (oprócz masy całkowitej) oraz limity cząstek stałych dla silników benzynowych z wtryskiem bezpośrednim paliwa. Urządzenia do dokładnego próbkowania i pomiaru tych składników spalin



statistical evaluations); analyser specifications (range no longer important – now related to actual engine emissions); analyser functioning (must not switch analogue gains for continuous measurement) and CLD analysers ( $\text{CO}_2$  and  $\text{H}_2\text{O}$  quenching must be very limited).

The increasing use of regenerative exhaust aftertreatment systems had led to the creation of testing regimes for such devices, which must be tested immediately after, just before, and during regenerative phases. The aim of such procedures is to assess the effect of regenerations on exhaust emissions. A comparison of mean results with and without regeneration leads to the calculation of a regeneration factor,  $K_r$ .

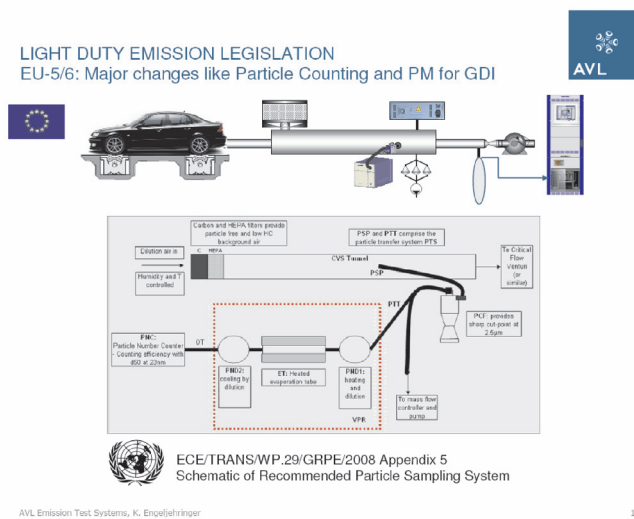


Fig. 12. The addition of the particle number sampling system to an emissions laboratory

Rys. 12. Dodatkowy system do liczenia ilości cząstek stałych w laboratorium badania emisji

Specialised test procedures have also been developed for hybrid vehicles. With a weighted mean of results from different battery charge states being taken as the final emissions figure.

Certain factors likely to feature in future legislation and already testable with existing technology. Measurement of driveability, manoeuvre-based tests (e.g. turns) and highly accurate fuel consumption data are all possible with the latest technology. Current advanced laboratory facilities can permit measurement of the exhaust gas carbon mass balance with sufficient accuracy such that calculated and directly measured fuel consumption figures agree to within 0.1 per cent.

#### **Changes in the new Euro 5 and Euro 6 Regulations and the Consequences for Test Chamber Design – Rudi Kreuzer, Weiss Umwelttechnik, Germany**

Both the Euro 5/6 and EPA CFR-1065 procedures introduce major changes which will alter both the specification of testing facilities and the way in which tests are performed. The tightening of maximum permissible emissions of gaseous exhaust components and the introduction of a particle number limit represent two highly significant departures from

muszą wchodzić w skład wyposażenia przeznaczonego do testów według tych przepisów (rys. 12).

Nowe amerykańskie przepisy CFR zmieniają wymagania dotyczące zainstalowanej aparatury badawczej używanej do badań homologacyjnych zgodnie z wymaganiami EPA. Obecnie planowane inwestycje dotyczące hamowni silnikowych lub podwoziowych powinny uwzględniać te wymagania, aby uniknąć w przyszłości kosztownych unowocześnień bądź wymian sprzętu. Wymagania zawarte w przepisach CFR dopuszczają użycie alternatywnych procedur badawczych, ale akceptacja takich procedur musi się odbywać w oparciu o statystyczne dowody dotyczące dokładności i powtarzalności, co może być trudne do zapewnienia. Przepisy CFR zawierają warunki odnośnie jednostek (obliczenia wykonywane są w molach), osiągow (oparte na równaniach statystycznych), specyfikacji analizatorów (zakres pomiarowy nie jest obecnie istotny – odnosi się do rzeczywistej koncentracji składników toksycznych), funkcjonowania analizatorów (podczas ciągłego pomiaru nie można przełączać danego zakresu pomiarowego), funkcjonowania analizatorów CLD (interferencja  $\text{CO}_2$  i  $\text{H}_2\text{O}$  musi być bardzo ograniczona).

Coraz częstsze zastosowanie systemów oczyszczania spalin zdolnych do regeneracji prowadzi do tworzenia procedur badawczych dla takich urządzeń, które muszą być badane natychmiast po, tuż przed oraz podczas fazy regeneracji. Celem tych procedur jest ocena wpływu regeneracji na poziom emisji. Porównanie średniej wyników z i bez regeneracji prowadzi do obliczeń współczynnika regeneracji  $K_r$ .

Specjalistyczne procedury testowe są także rozwijane dla pojazdów hybrydowych. Wyniki ze średniej ważonej dla różnych stopni naładowania baterii są uważane za finalny poziom emisji.

Pewne wymagania prawdopodobne w przyszłych i obecnych rozwiązaniach legislacyjnych są testowane przy użyciu dostępnych konstrukcji. Określenie własności trakcyjnych pojazdu, testowanie manewrowości pojazdów (np. jazda po łuku) oraz bardzo dokładne pomiary zużycia paliwa jest osiągalne przy użyciu najnowszej techniki pomiarowej. Obecnie specjalistyczny sprzęt pomiarowy pozwala na pomiar masy węgla w spalinach z wystarczającą dokładnością, taką jak masa węgla obliczana na podstawie emisji i na tej podstawie bezpośredni pomiar zużycie paliwa z dokładnością do 0,1%.

#### **Zmiany w nowych przepisach Euro 5 i Euro 6 oraz ich konsekwencje dla konstrukcji komór do testów emisji – Rudi Kreuzer, Weiss Umwelttechnik, Niemcy**

Nowe przepisy, zarówno Euro 5/6 jak i EPA CFR-1065 wprowadzają duże zmiany które zmienią zarówno specyfikacje wyposażenia badawczego jak i sposób wykonywania testów. Zaostrzenie limitu maksymalnej dopuszczalnej ilości składników szkodliwych spalin: gazowych oraz wprowadzenie limitu dla ilości stanowi dwa znaczące utrudnienia w stosunku do poprzednich wymagań. Podobne limity dotyczące masy oraz ilość cząstek stałych są przewidywane w normach Euro 5 i Euro 6. Wymagania dla

pervious requirements. Identical particle mass and number limits are stipulated in Euro 5 and Euro 6.

Globally, standards for all types of combustion engines are becoming more stringent, regardless of engine size and application. Limits for NO<sub>x</sub>, HC and PM have even been defined for off-road machinery, from heavy trucks and agricultural machinery right down to chain saws and similar devices. The EU, USA, China, Japan and India have all set lower off-road emissions limits for the coming years, according to vehicle/device power rating.

For many types of heavy-duty off-road vehicle and device, emission limits are now work-based rather than distance-based, as g/km have been replaced with g/kWh.

Implications of the new standard procedures affect the design and configuration of both climatic chambers and analysers, as shown in Fig. 13.

### Influences on the Test Chamber



- Only one measurement of HC background (for combustion air and dilution air) – outer air volume into the test chamber approx. 2400m<sup>3</sup>/h
- Short distance exhaust to CVS, max. 3.6m without insulation, max. 6.1m with insulation pipes
- Sample bags installed in an insulated box to avoid condensation
- Exhaust pipes and hoses made of materials with electrical conductivity and grounded
- Measurement of particle mass and number

DSRMAL

May 2010

7



Fig. 13. Influences on chamber design

Rys. 13. Czynniki wpływające na projekt komory

Modern chambers designed to certificate road vehicles according to these standards must feature a number of systems: cooling and humidifying systems, with sensors; exhaust extraction and outer air make up facilities; some form of pressure release system; and, for safety reasons, HC and CO monitors. The maximum length of tubing from the exhaust to the CVS system is limited to 3.6 metres; this can be increased to 6.1 metres if the pipes are thermally insulated. Similarly, sample bags must be housed in insulated housing to avoid condensation. Pipes and hoses for the transport of exhaust gas samples must be made of electrically conductive materials, and must be adequately earthed.

Measurement of background levels of hydrocarbons need only be performed once – the combustion engine air intake and dilution airflows are assumed to have the same HC content. The flow rate of external air into the chamber must be approximately 2400 m<sup>3</sup>/hour (around 667 litres per second).

The introduction of altitude testing in CFR-1065 necessitates a separate system for creating pressures lower than standard atmospheric pressure.

Climatic chambers must be able to take a chamber to –7°C for the incoming test procedures, and further to –30

wszystkich typów silników spalinowych stają się bardziej surowe, niezależnie od objętości skokowej silnika czy jego zastosowania. Ograniczenia emisji dla NO<sub>x</sub>, HC oraz PM zostały zdefiniowane nawet dla pojazdów pracujących poza drogami, poczynając od samochodów ciężarowych i sprzętu rolniczego aż po piły łańcuchowe i podobne urządzenia. Kraje takie jak UE, USA, Chiny, Japonia i Indie ustaliły niższe limity emisji na zbliżające się lata, zgodnie ze wskaźnikiem mocy dla samochodów/urządzeń. Dla wielu typów ciężkich pojazdów do zastosowań poza drogowych oraz maszyn roboczych, limity emisji odnoszą się do pracy wykonanej przez urządzenie niż do pokonanego dystansu, g/km są zastępowane przez g/kWh. Nowe procedury badawcze wpływają na proces projektowania i konfiguracji zarówno dla komór klimatycznych jak i analizatorów spalin, jak pokazano na rys. 13.

Współczesne komory klimatyczne są zaprojektowane tak aby homologować pojazdy drogowe zgodnie z obowiązującymi przepisami i w związku z tym zawierają wiele układów: układ chłodzenia i utrzymywania odpowiedniej wilgotności wraz z czujnikami, układ, odprowadzania spalin oraz urządzenia zapewniające dopływ powietrza, systemy regulacji ciśnienia, a także ze względów bezpieczeństwa, systemy monitorowania poziomu HC i CO w powietrzu.

Maksymalna długość przewodu między wylotem spalin a systemem próbkowania CVS jest limitowana do 3,6 m, może być zwiększona do 6,1 metra jeśli rura łącząca jest izolowana termicznie. Podobnie worki próbkujące muszą być izolowane aby zapobiec kondensacji spalin. Rury i przewody służące do transportu próbkowanych spalin muszą być wykonane z materiału przewodzącego prąd oraz muszą być uziemione.

Pomiar poziomu tła węglowodorów musi być wykonany tylko raz – przepływy powietrza zasysanego przez silnik i rozcieńczonego są dobrane tak aby mieć tą samą zawartość HC. Stopień przepływu zewnętrznego powietrza do komory musi być na poziomie 2400 m<sup>3</sup>/h (około 667 litrów na sekundę).

Wprowadzenie symulacji testów na różnej wysokości od poziomu morza w CFR-1065 wymaga oddzielnego systemu do generowania ciśnienia niższego niż standardowe ciśnienie atmosferyczne.

Komora klimatyczna musi być zdolna do schłodzenia powietrza wewnątrz do temperatury –7°C aby spełniać wymogi obowiązujących procedur, a w dalszej kolejności do –30 i –35°C. Dodatkowo oprócz uzyskania tak niskich temperatur, komora musi być w stanie utrzymywać tę temperaturę w przedłużonym czasie testu. Nie może nastąpić zakłócenie procesu osuszania dodatkowego powietrza w tych temperaturach, ponieważ typowe wymienniki ciepła instalowane w takich urządzeniach są zdolne do przetłaczania powietrza w tych temperaturach. Powstawanie niewielkich ilości lodu w tych urządzeniach nie powinno znacząco osłabiać ich funkcji.

**Wyzwania, które stawia przygotowanie wydajnego systemu katalitycznego dla silników Diesla spełniających normę Euro 6 – Dr Gerardo Carelli et al., Umicore, Włochy/Niemcy**

and  $-35^{\circ}\text{C}$ ; in addition to reaching these temperatures, they must also be able to maintain them for prolonged periods of testing. The make-up air drying process is unlikely to be compromised at such temperatures, as the heat exchangers typically installed in such facilities are capable of handling air at these temperatures. Any formation of ice in these devices should not be significant enough to impair their function.

### The Challenge of Preparing an Effective Diesel Euro 6 Catalyst System – Dr Gerardo Carelli et al., Umicore, Italy/Germany

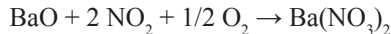
The Diesel engine can be thought of as a weapon in the fight against fuel consumption and therefore  $\text{CO}_2$  emission, but it is not without its drawbacks. No three-way catalyst (TWC) exists which can adequately treat diesel engine-out gases and  $\text{NO}_x$  remains a significant problem for this engine type.

Two possibilities for Diesel engine catalytic converter concepts are currently under investigation by manufacturers and related companies: the SCR catalyst system and the  $\text{NO}_x$  storage catalyst designs. The SCR finds many adherents in the USA, partially due to the fact that SCR systems suit larger engines. These systems rely on the availability of  $\text{NO}_2$ ; the storage catalyst forms this compound within the catalyst and the SCR obtains it from an external source. The reactions that occur within the catalysts are as follows:

SCR catalyst system:



$\text{NO}_x$  storage catalyst:



In their research programme, Umicore have investigated three different sources of  $\text{NO}_2$  to act as feedstock for the SCR catalyst system. The three points are engine-out, the Diesel oxidation catalyst and the catalysed Diesel particulate filter. Measurements performed during the NEDC test indicate that for almost all portions of the cycle the engine-out  $\text{NO}_x$  stream is much richer in  $\text{NO}_2$  than the same flow measured downstream of the DOC.  $\text{NO}_2$  formation was found to be strongly controlled by CO and HC light off – before reaching temperatures above the light off points,  $\text{NO}_2$  is consumed, rather than produced (Fig. 14). Within the DOC, sluggish kinetics hinder the formation of  $\text{NO}_2$ , and a maximum rate of formation is observed at around  $250^{\circ}\text{C}$ ; at higher temperatures thermodynamic effects reduce the  $\text{NO}_2$  output fraction.

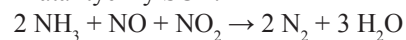
The length (i.e. volume for constant width), and to a lesser extent the metal loading of the catalyst were found to significantly change the efficacy of  $\text{NO}_2$  production within the DOC. The space velocity (controlled by the gas flow rate) also exerts a significant control – at  $25000 \text{ hour}^{-1}$   $\text{NO}_2/\text{NO}_x$  values of up to almost 85 per cent were observed; at  $75000 \text{ h}^{-1}$  the maximum value was around 65 per cent. The presence or absence of a coating layer in the DPF impacts on  $\text{NO}_2$  formation. For most of the NEDC coated versions perform better in this respect. The precious metal

Silnik Diesla jest uważany jako oręż w walce ze zużyciem paliwa oraz wynikającą z niego emisją  $\text{CO}_2$ , posiada on jednak pewne swoje wady.

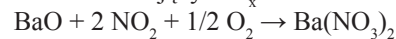
Brak trójfunkcyjnych reaktorów katalitycznych, które w równy sposób radzą sobie ze spalinami Diesla, w tym z  $\text{NO}_x$ , pozostaje znaczącym problemem dla tego typu silników.

Producenci reaktorów katalitycznych oraz związane z nimi instytucje badawcze rozważają obecnie dwie koncepcje konwerterów katalitycznych do silników Diesla: system katalizatorów SCR oraz katalizatory absorbujące  $\text{NO}_x$ . W USA system SCR znajduje wielu zwolenników. Częściowo poprzez fakt, że SCR dobrze nadaje się do zastosowania do większych silników. Systemy te opierają się na obecności  $\text{NO}_2$ , katalizatory absorbujące uzyskują ten składnik wewnątrz katalizatora, a system SCR z zewnętrznego źródła. Reakcje zachodzące wewnątrz katalizatorów są następujące:

system katalityczny SCR:



katalizator absorbujący  $\text{NO}_x$ :



Umicore w swoim programie badawczym analizuje trzy różne źródła  $\text{NO}_2$  dostarczanego do systemu katalizatorów SCR. Tymi trzema źródłami są: emisja gazów spalinowych z silnika, katalizator utleniający, filtr cząstek stałych z pokryciem katalitycznym. Pomiary wykonane podczas testu NEDC wskazują, że dla prawie wszystkich części cyklu badawczego emisja  $\text{NO}_x$  bezpośrednio z silnika jest dużo bogatsza w  $\text{NO}_2$  niż równolegle mierzona za katalizatorem DOC. Formowanie  $\text{NO}_2$  okazuje się być mocno zależne od temperatury aktywacji katalizatora dla utleniania CO oraz HC. Przed osiągnięciem tej temperatury  $\text{NO}_2$  jest zużywane bardziej niż produkowane (rys. 14). W katalizatorze DOC zbyt powolny przepływ osłabia formowanie  $\text{NO}_2$ , najwyższe tempo formowania zostało zaobserwowane przy temperaturze  $250^{\circ}\text{C}$ ; przy wyższych temperaturach zjawiska termodynamiczne zmniejszają emisję  $\text{NO}_2$ .

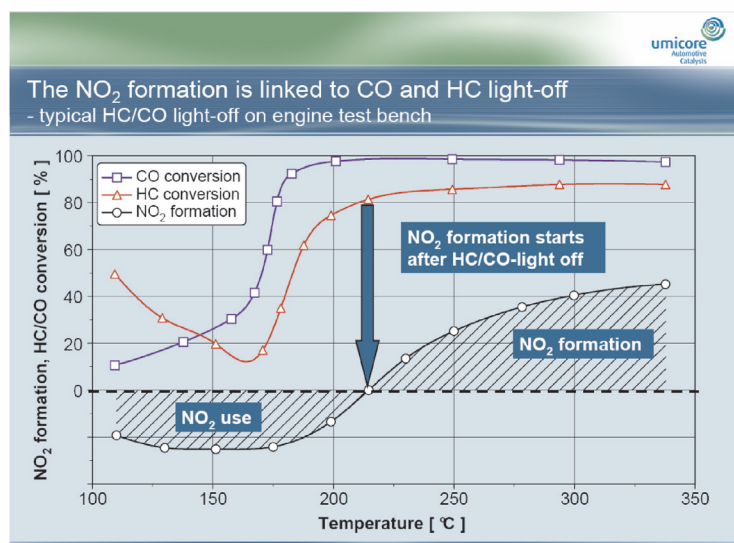


Fig. 14.  $\text{NO}_2$  formation within a DOC as a function of temperature  
Rys. 14. Formowanie  $\text{NO}_2$  w reaktorze DOC w funkcji temperatury

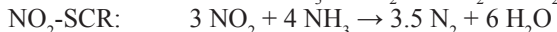
ratio was also found to be of importance, with higher Pt content versions giving equivalent or superior NO<sub>2</sub> output over the entire NEDC. Results obtained by Umicore indicate that the use of zoned technology in the DPF does not yield NO<sub>2</sub> production benefits.

Evaluation of five key parameters – the precious metal loading of the DOC, the Pt/Pd-ratio of the DOC, the precious metal loading of the DPF, the Pt/Pd ratio of the DPF and the precious metal loading in the front zone of the DPF – revealed that the Pt/Pd ratio of the DPF is the only factor to exceed statistical relevancy, with the metal loading and loading ratio of the DOC close to exerting statistically significant control. The metal balance and dimensioning of the DPF are also crucial in controlling outputs from DPF cleaning in urban environments. These findings reveal that NO<sub>2</sub> production for use as an input for SCR systems is clearly linked to HC and CO light-off, and that lower space velocities, higher Pt content and homogeneously coated filters perform best. Because of the link to light-off, the DOC has to control HC and CO emissions; the DPF can be made use of as a source of NO<sub>2</sub> when this has been achieved.

#### **Catalyst Technology Development for Euro 5 and Euro 6 Regulations – Keijo Torkkell, Ecocat, Finland**

Where SCR systems are employed, ammonia (NH<sub>3</sub>) is an essential input into the system. This can be obtained from the thermal or catalytic hydrolysis of urea in the exhaust lines. Achieving an adequate reaction rate at the low temperatures of these locations represents a challenge. Tests have shown that well-designed reactors that make use of welded mixer-type structures can produce significant quantities of ammonia, over a broad range of temperatures. Accelerated ageing leads to relatively little change in output; adding a DOC to the system produces an increase in productivity at lower temperatures. Some concern has been expressed regarding the possibility of vanadium evaporation and subsequent emission, but no evaporation of vanadium was observed in tests at up to 900°C.

The following reactions are of interest in SCR catalysts:



Diesel particulate filters benefit from the application of coatings. Ecocat's thin Sol gel coatings (less than 2 microns in thickness) maintain the openness of the pores (mode pore diameter is reduced by less than 1.5 per cent) and thus the Δp value is very close to that of the uncoated core. Ageing tests indicate that CO light-off occurs at significantly lower temperatures for catalysts with a thin platinum-containing coating, compared to standard catalysts. Soot consumption rates were also shown to be superior for this catalyst design type, although this was reduced by around 25 per cent after 200 hours' accelerated ageing (Fig. 15).

Optimum coatings also have great potential for boosting the performance of Diesel oxidation catalysts. Platinum coatings are known to foster the production of NO<sub>2</sub>, but the high cost of this precious metal means its density in the catalyst

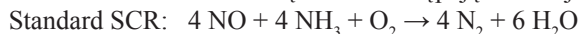
Długość reaktora katalitycznego (tzn. objętość przy stałej szerokości), oraz zmniejszenie zawartości metali szlachetnych wpływa na znaczącą zmianę wydajności powstawania NO<sub>2</sub> w obrębie katalizatora DOC. Szybkość przepływu gazu (mierzona przepływomierzem) także nabiera szczególnego znaczenia – dla 25000 godzin<sup>-1</sup> zaobserwowany stosunek NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> osiąga prawie 85 procent; dla 75000 godzin<sup>-1</sup> wartość maksymalna osiągała około 65 procent. Obecność lub brak powłoki katalitycznej w filtrze DPF również wpływa na formowanie NO<sub>2</sub>. W większości testów NEDC filtry DPF z powłoką katalityczną odznaczają się lepszą sprawnością formowania NO<sub>2</sub>. Stosunek zawartości metali szlachetnych został także uznany za ważny, wersje z wyższą zawartością Pt zapewniają porównywalny lub wyższy wydatek NO<sub>2</sub> w czasie testu NEDC. Wyniki otrzymane przez Umicore wskazują, że stosowanie technologii warstwowej nie przynosi korzyści w tworzeniu NO<sub>2</sub>.

Ocena pięciu kluczowych parametrów – zawartość metali szlachetnych w DOC, stosunek Pt/Pd w DOC, zawartość metali szlachetnych w DPF, stosunek Pt/Pd w DPF oraz zawartość metali szlachetnych w początkowej strefie DPF – pokazała, że stosunek Pt/Pd w DPF jest jedynym czynnikiem przewyższającym średnią statystyczną, wraz z zawartością metali szlachetnych i stosunkiem ich zawartości w DOC. Stosunek zawartości metali szlachetnych i wymiary filtra DPF są również kluczowe w kontrolowaniu emisji na wylocie z DPF-u w cyklu jazdy miejskiej. Te obserwacje pokazują, że tworzenie NO<sub>2</sub> doprowadzanego do układu SCR jest zależne od temperatury light-off dla HC i CO, filtry o mniejszej prędkości przepływu, wyższej zawartości Pt i z jednorodnym pokryciem odznaczają się najwyższą sprawnością. Ze względu na powiązanie z temperaturą *light-off*, DOC ma za zadanie kontrolować emisję HC i CO; DPF może być użyty jako źródło NO<sub>2</sub> kiedy będzie to wymagane.

#### **Rozwój konstrukcji reaktorów katalitycznych dla spełnienia norm Euro 5 i Euro 6 – Keijo Torkkell, Ecocat, Finlandia**

W układach oczyszczania spalin gdzie wykorzystuje się systemy katalityczne SCR, podstawowym dodatkiem jest amoniak (NH<sub>3</sub>). Można go otrzymać w wyniku termicznej lub katalitycznej hydrolizy mocznika w układzie wydechowym. Osiągnięcie odpowiedniej wydajności tej reakcji w warunkach niskiej temperatury stanowi duży problem. Badania wykazały, że odpowiednio zaprojektowany reaktor, zbudowany jako spawany mieszalnik może wytwarzać znaczne ilości amoniaku w szerokim zakresie temperatur. Przyspieszony proces starzenia reaktora katalitycznego prowadzi do niewielkiej zmiany wydajności; dodanie reaktora typu DOC do systemu, powoduje wzrost wydajności przy niskich temperaturach spalin. Niektórzy producenci wyrażali obawę o możliwość odparowania wanadu i wynikającą z tego niepożądaną emisję, lecz w czasie badań nie zaobserwowano parowania wanadu podczas testów w temperaturach do 900°C.

W reaktorze SCR istotne są dla nas następujące reakcje:



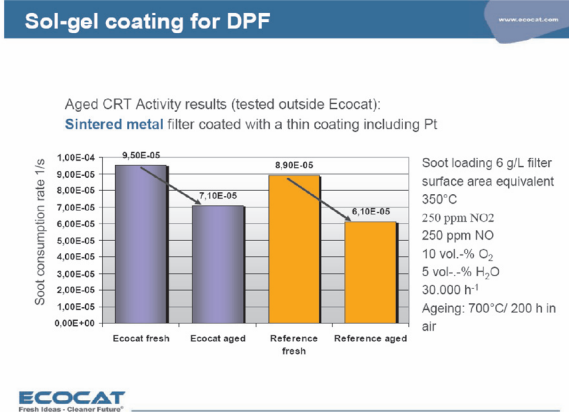


Fig. 15. Soot consumption within the DPF for four catalysts

Rys. 15. Osadzanie się sadzy w filtrze DPF dla czterech filtrów

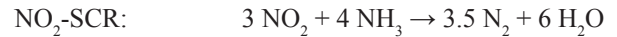
should be minimized. Using a platinum-palladium alloy gives excellent performance (in fact better than Pt alone) and slows the sintering process, thereby stabilizing the platinum component and increasing durability, and all at a reasonable cost. A Pt-Pd alloy catalyst was tested against a more conventional equivalent, and was found to give good results. NO<sub>2</sub> formation for the road aged Pt-Pd alloy catalyst was found to be superior at medium and high loads; HC conversion showed a marked increase at all load points tested.

Particulate oxidation catalysts have been proven to be viable, cost-effective options for LD and HD vehicles' particulate removal. Application-specific coatings give the best performance. Treatment of very fine particles is highly efficient, but reduces steadily to 40-50 percent for PM<sub>0.1</sub>; for larger sizes collection is more closely related to engine load.

SCR catalysts, when combined with a pre-oxidat, post-oxidat, hydrolysis catalysts and/or catalysed particulate filter, can be designed according to the application in question. Within the DPF, a uniform coating along the wall increases stability – the slow sintering that results improves the durability of the catalyst. Particulate oxidation catalysts could represent a single solution to address the problem of GDI particulate emission. Real-world vehicle road testing has confirmed the efficiency and regenerative capabilities of such devices.

#### **Ultimate Exhaust Emission Reduction: Hybrid Technologies Enter the Key Players List – Paolo Giardina Papa, Mecaprom, Italy**

Hybrid drivetrains have a significant role to play in emissions reduction efforts. Two fundamental design schemes exist: parallel (electrically assisted) hybrids and series hybrids (with range extenders). Series hybrid systems are not suitable for use in conjunction with CI engines. The problems associated with current spark ignition and compression ignition engines are brought into focus in the first 90 seconds on the NEDC (i.e. cold start), as shown in Fig. 16. During this period, over 50 per cent of CO & 90 per cent of HC emission



Filtry cząstek stałych dają większe korzyści przy zastosowaniu powłok katalitycznych. Cienka powłoka Sol gel (mniej niż 2 mikrony grubości) utrzymuje odpowiednią średnicę porów (średnica otworków w substracie jest zredukowana o mniej niż 1,5 procenta), tak więc wartość  $\Delta p$  jest bardzo zbliżona do tej na rdzeniu bez powłoki katalitycznej. Test starzenia wykazał, że temperatura *light-off* dla CO jest uzyskiwana przy znacznie niższych temperaturach dla katalizatorów z cienką platynową powłoką, w porównaniu do zwykłych katalizatorów. Współczynnik pochłaniania sadzy jest kluczowy dla reaktorów katalitycznych tego typu, mimo to osiągnięto 25 procentowy spadek po 200 godzinach przyspieszonego procesu starzenia reaktora (rys. 15).

Optymalizacja powłok katalitycznych jest także bardzo ważna dla podnoszenia wydajności reaktorów utleniających silników Diesla. Platynowe powłoki są uznawane jako sprzyjające tworzeniu NO<sub>2</sub>, lecz wysoka cena tego metalu szlachetnego skłania do minimalizacji jego zawartości w reaktorze. Użycie stopu platyna-pallad daje doskonałe efekty (w rzeczywistości lepsze niż dla samej platyny) i spowalnia proces spiekania, w związku z tym wzrasta stabilność platyny i zwiększa się trwałość reaktora, i można to osiągnąć przy bardziej umiarkowanych kosztach. Katalityczny stop Pt-Pd był testowany w porównaniu do standardowych materiałów z bardzo dobrymi wynikami. Formowanie NO<sub>2</sub> w reaktorze zawierającym powłokę Pt-Pd, testowanym w warunkach drogowych, było szczególnie wysokie w zakresie średnich i wysokich obciążeń; konwersja HC znacząco wzrosła we wszystkich testowanych punktach pracy silnika.

Reaktor utleniający cząstki stałe okazał się być istotną i atrakcyjną cenowo opcją dla pojazdów typu LD i HD, pozwalającą obniżyć emisję cząstek stałych. Zastosowane specyficzne powłoki katalityczne w tym rozwiązaniu dają najlepsze wyniki. Utlenianie bardzo małych cząstek stałych przebiega z dużą sprawnością, następuje również redukcja około 40-50 procent PM<sub>0.1</sub>; a w przypadku większych cząstek, ich utlenianie jest zależne od obciążenia silnika.

Układ SCR, gdy sprzężony jest z wstępnym reaktorem utleniającym, końcowym reaktorem utleniającym, reaktorem rozkładającym mocznik na amoniak i/lub filtrem cząstek stałych, może być zaprojektowany zgodnie z wymaganiami dla danego układu wylotowego spalin i silnika.

Wewnątrz filtra DPF, zastosowanie pokrycia katalitycznego wzdłuż ścianek filtra poprawia jego trwałość – wolne spiekanie powłoki skutkuje wzrostem trwałości reaktora.

Reaktor utleniający cząstki stałe może być dedykowany jako dodatkowe rozwiązanie problemu emisji cząstek stałych silników typu GDI. Testy pojazdów w rzeczywistych warunkach drogowych potwierdziły wydajność i możliwości regeneracji takich urządzeń.

#### **Całkowita redukcja emisji związków szkodliwych spalin: napędy hybrydowe wchodzą do listy kluczowych rozwiązań – Paolo Giardina Papa, Mecaprom, Włochy**

Napędy hybrydowe mogą odegrać główną rolę w wysiłkach dotyczących obniżenia emisji związków szkodliwych. Istnieją dwa podstawowe ich rodzaje: hybrydy równoległe

from gasoline engines for the entire 1180-second NEDC occurs; for Diesels the figures are around 90 per cent for CO and 35 per cent for HC. Catalyst light-off points, and the time in the NEDC taken to achieve these temperatures, are key points to be considered in emissions reduction strategies.

While the oxidation of HC and CO is dependent on light-off for both engine types, NO<sub>x</sub> presents different challenges according to ignition type. For SI engines NO<sub>x</sub> reduction depends on lambda control and post-treatment quality; for CI engines EGR tolerance and operation under lean conditions are the controlling factors.

For SI engines the rate of NO<sub>x</sub> generation greatly increases during periods of acceleration, due to the temporary onset of non-stoichiometric combustion during such phases. CI engines suffer high NO<sub>x</sub> levels during periods of low EGR operation.

Downsizing, an essential emissions reduction strategy, has the unfortunate effect of increasing engine load, which jeopardises low NO<sub>x</sub> operation. For CI engines, higher loads reduce the possibility of EGR operation and thereby necessitate aftertreatment systems of higher complexity (and therefore cost). Hybrid technology presents the opportunity to decouple engine load and vehicle operation. However, not all conditions permit range extenders to operate at a fixed point – high-speed highway situations, for example.

The specific advantages hybrid technology can bring vary according to the combustion engine fitted to the vehicle. For SI engines the main target is the achievement of immediate catalyst light-off. This can be achieved by increasing the engine-out temperature (load management, valve timing/lift, post-injection), and by increasing the catalyst inlet temperature (with the aid of close coupling and measures to minimise thermal inertia). Hybrid architecture can be employed to decouple engine and vehicle operation so that engine load can be optimised for fast light-off. The energy storage ability of such systems minimises any fuel consumption penalties.

(silnik spalinowy jest wspomagany przez silnik elektryczny) i hybrydy szeregowe (z silnikiem wydłużającym zasięg pojazdu). Hybrydy szeregowe nie są odpowiednie do połączenia z silnikiem ZS. Problemem aktualnych silników ZI i ZS branych pod uwagę w testach emisji jest pierwsze 90 sekund testu NEDC (po zimnym rozruchu silnika), jak pokazano na rysunku 15. Podczas tego okresu emitowane jest ponad 50 procent CO i 90 procent HC dla całego 1180 sekundowego testu NEDC; dla silnika ZS wartości te są następujące: około 90 procent CO i 35 procent HC. Osiągnięcie temperatury light-off reaktora katalitycznego i czas testu NEDC potrzebny do uzyskania tych temperatur są kluczowymi aspektami rozważanymi w strategiach ograniczania emisji.

W przypadku HC i CO ich utlenianie jest zależne od osiągnięcia temperatury light-off dla obu typów silników, natomiast emisja NO<sub>x</sub> stawia odmienne wymagania w zależności od typu silnika i rodzaju zapłonu. Dla silników ZI redukcja NO<sub>x</sub> zależy od składu mieszanki paliwo-powietrze (lambda) i jakości układu oczyszczania spalin. Dla silników ZS czynnikami decydującymi w warunkach mieszanki ubogiej jest sterowanie zaworem recyrkulacji spalin EGR.

Dla silników ZI ilość wytwarzanych NO<sub>x</sub> znacząco wzrasta w trakcie przyspieszania, spowodowane to jest chwilowym spalaniem mieszanki o składzie nie stechiometrycznym. Silniki ZS charakteryzują się na wysoką emisję NO<sub>x</sub> w trakcie niskiego poziomu recyrkulacji spalin przez zawór EGR.

Obniżanie gabarytów i masy silnika przy zachowaniu jego parametrów jest podstawowym sposobem ograniczania emisji, przy jednoczesnym niekorzystnym efekcie skutkującym wzrostem obciążenia silnika, który niekorzystnie wpływa na obniżanie poziomu emisji NO<sub>x</sub>. Dla silników ZS wyższe obciążenia obniżają możliwość sterowania EGR i wynika z tego potrzeba stosowania bardziej kompleksowych układów oczyszczania spalin a także wzrost kosztów takiego systemu. Technologie hybrydowe dają możliwość zmiany zależności wpływu obciążenia silnika na napęd pojazdu.

Jednakże nie wszystkie warunki drogowe pozwalają pracować silnikom spalinowym w ustalonych stanach pracy – na przykład w warunkach jazdy autostradowej.

Określone korzyści z zastosowania konstrukcji hybrydowej może przynieść zmienne, dostosowane do pojazdu, sterowanie silnikiem spalinowym. Dla silników ZI głównym celem jest osiągnięcie jak najszybciej temperatury *light-off* reaktora katalitycznego. To może być uzyskane przez wyższą temperaturę na wylocie z komory spalania silnika (regulacja obciążenia, sterowanie czasem/wznosem zaworów i dodatkowym wtryskiem paliwa) oraz przez wzrastającą temperaturę na dopływie (ze wsparciem sprzęgnięcia bezpośredniego oraz rozwiązaniami obniżającymi bezwładność termiczną). Struktura napędu hybrydowego pozwala rozłączać silnik spalinowy i sterowanie pojazdu, optymalizując jego obciążenie dla szybszego osiągnięcia temperatury *light-off*. Możliwość „przechowywania

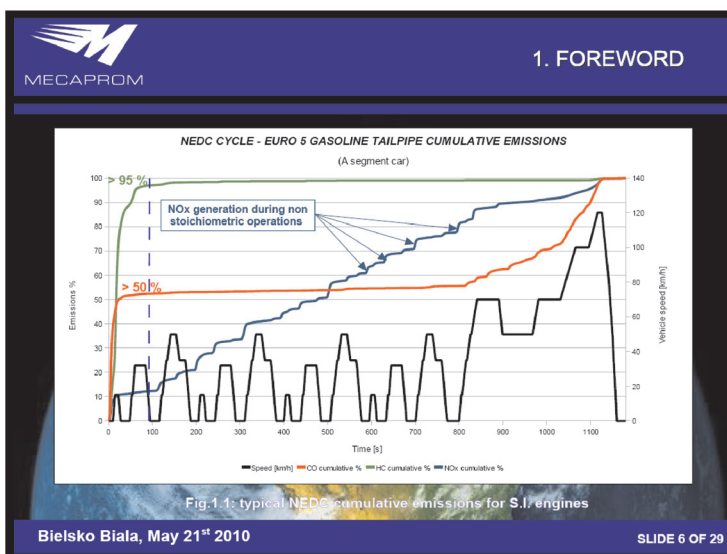


Fig. 16. Typical cumulative emissions for a Euro 5 petrol LDV

Rys. 16. Typowa sumaryczna emisja dla samochodu benzynowego Euro 5

For CI engines the main target is the control of tailpipe NO<sub>x</sub> emissions. Here the technology can be employed to reduce the dynamism of operation, confining engine load to the low NO<sub>x</sub> regime. This parallel arrangement means that there would be no impact on fuel economy, performance or driveability.

The efficient use of fuel economy is the key factor for faster catalyst light-off. It is clear which technologies are involved; these technologies have sufficient maturity such that their development is not an issue. Costs and system complexity are currently the limiting factors.

Appropriate hybrid technologies may present an opportunity to achieve an important shift from passive containment of emissions to an active approach whereby certain emissions are avoided by limiting the engine operating conditions. The key factors are: low engine-out emissions, increased efficiency of aftertreatment systems, and matching of engines to vehicles. Hybrid technology alters the balance of this last criterion by permitting flexibility in vehicle/powertrain matching and proving flexibility in the management of transient factors.

#### **Fuel Quality Evolution in Europe – Pietro Scorletti, Eni, Italy**

The involvement of the European Union (and its predecessors) in emissions reduction legislation dates to 1975, when sulphur was first targeted out of fears over the effects of acid rain. After sulphur, lead-and benzene-related regulations followed. Over time, air quality and greenhouse gas concerns have come to the fore of political debate, and legislation in these areas has been plentiful. Mandated EU values for research and motor octane numbers, vapour pressure and the levels of various components have all changed over the last two decades (Fig. 17). However, from 2005-2009 the only mandated change was regarding sulphur levels, to reduce production of PM.

The 1994 emissions agreement was novel due to the involvement of ACEA, an industry lobby and interest group, in the process. ACEA was active in EPEFE (European Programme on Emissions, Fuels and Engine Technology), which designed the NEDC. ACEA is represented in both upper tiers of the organisation and has contributed to all the projects undertaken.

Gasoline quality improvement

	1993	1996	2000	2005	2009
RON, min	95	95	95	95	95
MON, min	85	85	85	85	85
Benzene, vol%, max	5.0	5.0	1.0	1.0	1.0
Aromatics, vol%, max	-	-	42	35	35
Olefins, vol%, max	-	-	18	18	18
RVP, kPa (summer grade, max)	100	100	80	80	60
Oxygen, wt%, max	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
Sulphur (mg/kg), max	500	500	150	50 (10)*	10

\* 10 ppm sulphur fuel in 2005 had to be geographically available in an appropriately balanced manner



Fig. 17. Evolution of gasoline fuel quality for the EU market

Rys. 17. Ewolucja jakości benzyny dla rynków UE

energii” przez taki układ obniża dodatkowe straty związane z nadmiernym zużyciem paliwa w niektórych punktach pracy silnika.

Głównym wyzwaniem dla silników o zapłonie samoczynnym jest emisja NO<sub>x</sub>. W tym przypadku technika hybrydowa może zostać wykorzystana w celu zmniejszenia dynamiki zmiany punktów pracy, ograniczając obciążenie silnika tylko do stanów pracy kiedy emisja NO<sub>x</sub> jest niska. To równoległe oddziaływanie pozwala na utrzymanie niskiego poziomu zużycia paliwa, osiągow oraz zdolności napędowych całego układu hybrydowego.

Skuteczne wykorzystanie spalane go paliwa jest kluczowym czynnikiem przyspieszającym osiągnięcie temperatury *light-off* reaktora katalitycznego. W tej dziedzinie są znane rozwiązania konstrukcyjne, które należy zastosować. Obecnie tylko cena tych rozwiązań oraz stopień komplikacji są czynnikami ograniczającymi przy ich zastosowaniu.

Zastosowanie konstrukcji napędów hybrydowych może pozwolić na osiągnięcie ważnej zmiany z pasywnego ograniczenia emisji do aktywnego podejścia do tego problemu, gdzie pewna część całkowitej emisji jest zmniejszana przez zmiany punktów pracy silnika. Kluczowymi czynnikami są: niska, bezpośrednia emisja z silnika, zwiększona sprawność systemu oczyszczania spalin oraz odpowiedni dobór silnika do pojazdu. Technika hybrydowa zmienia balans ostatniego kryterium pozwalając na elastyczność doboru pojazd/układ napędowy oraz elastyczność w zarządzaniu stanami przejściowymi pracy układu napędowego.

#### **Ewolucja jakości paliw w Europie – Pietro Scorletti, Eni, Włochy**

Zaangażowanie Unii Europejskiej (oraz jej prekursorów) w rozwój przepisów prawnych ograniczających emisję związków szkodliwych spalin datowane jest na rok 1975, gdy związki siarki okazały się odpowiedzialne za opady kwaśnych deszczów. Po siarce, ograniczenia objęły ołów i benzen. W późniejszym czasie jakość powietrza oraz emisja gazów cieplarnianych stały się głównym tematem politycznych debat; zostało wprowadzone szerokie ustawodawstwo dotyczące tego tematu. Narzucone przez UE wartości liczby oktanowej, prężności par w paliwie oraz ilość poszczególnych składników paliw zmieniły się przez ostatnie dwie dekady. Jednakże, od 2005 do 2009 roku zmianie uległa tylko dopuszczalna ilość siarki, ze względu na konieczność obniżenia emisji PM.

Porozumienie z 1994 zawarte w sprawie ograniczania emisji roku było nowatorskie poprzez zaangażowanie ACEA, przemysłowej grupy lobbystów. ACEA było aktywnie zaangażowane w realizacji programu EPEFE (Europejski Program Emisji, Paliw oraz Konstrukcji Silników), w ramach którego opracowano cykl badawczy NEDC. ACEA zaangażowane jest zarówno w kierownictwo programu badawczego jak również w realizowane projekty.

Wraz z różnymi trendami rozwoju motoryzacji jakość powietrza oraz emisja gazów cieplarnianych są głównymi czynnikami wymuszającymi poprawę jakości paliw. Zainteresowanie UE emisją gazów cieplarnianych doprowadziło do dużej liczby

In common with many automotive development trends, air quality and greenhouse gas emissions are the main driving forces for fuel quality improvements. EU concerns over greenhouse gas emissions have led to a number of initiatives to promote – and control – the usage of biofuels. Towards the end of 2009, the EU adopted two directives with significant impact on fuel quality: the renewable energy directive and the fuels quality directive, designed to work in tandem with the common goal of reducing greenhouse gas emissions associated with the production and usage of fuels.

Increased ethanol content in gasoline blends raises the prospect of material compatibility issues, including interactions with carbon storage canisters and an associated risk of deactivation. The increased volatility of such blends may impact driveability and evaporative emissions. The higher water content increases the risk of corrosion, and any separation of water within the fuel tank could result in engine damage. Increased biodiesel content in Diesel fuel raises certain potential issues. A foremost concern is material compatibility. As biodiesel is less stable than conventional Diesel fuel, there are implications for injector fouling. Finally, the altered boiling curve of biodiesel could introduce the problem of engine oil dilution. However, the current limit of 7 per cent biodiesel content does not represent a definitive technical limit, and few problems have been reported from usage in the field. Gaseous biofuels also have drawbacks in the area of quality (thereby creating a risk of injector damage), and the gases currently available are perhaps better put to use in static plants in the production of electricity.

Likely future trends regarding the evolution of fuel quality in the EU are: the gradual replacement of MTBE with ETBE (obtained from bioethanol) in gasoline blends; increasing concentrations of ethanol in gasoline blends; and an increasing proportion of FAME and FAEE in Diesel blends, in future perhaps from 2nd-generation biofuels.

The stated aim of these alterations to the fuel mix is a significant reduction in GHG emissions over the next few years. However, an unintended effect is the issue of materials compatibility – concern about this aspect will likely increase as levels of these compounds increase in fuels sold in the EU.

#### ***Alternative Diesel Fuels' Effects on Combustion and Emission of Diesel Engines – Federico Guglielmono, GMPT-E, Italy***

Diesel fuels have a central role as in-vehicle energy carriers. Electrical systems are still totally dependent on battery technology, and hydrogen alternatives have not yet been perfected. Diesel fuels, however, can be obtained from renewable sources and so alternative diesel fuels have an important part to play in efforts to reduce vehicular exhaust emissions and dependence on fossil oil. As various properties of alternative diesel fuels differ from standard Diesel (density, cetane number, etc), blending enables the production of a fuel with the desired characteristics, and enables realisation of the potential for synergy.

Use of an optical (transparent) single cylinder permits detailed images of the combustion process to be obtained,

promowanych inicjatyw, w tym zastosowania biopaliw. Przez koniec 2009 roku UE zaadoptowała dwie dyrektywy znacząco wpływające na jakość paliwa: dyrektywa o energii odnawialnej oraz dyrektywa dotycząca jakości paliw, wspólnie dyrektywy te mają za zadanie obniżyć emisję gazów cieplarnianych związanych z produkcją oraz zużyciem paliw.

Wzrost zawartości etanolu w mieszankach benzyny z alkoholem zwiększa wymagania wobec problemów odporności stosowanych z materiałów, w tym ze zbiornikami z węglem aktywnym oraz możliwością ich dezaktywacji. Zwiększona lotność takich mieszanek może wpłynąć na własności trakcyjne pojazdu oraz emisję poprzez odparowanie. Zwiększona zawartość wody w paliwie zwiększa ryzyko korozji oraz możliwość rozdzielenia wody w zbiorniku paliwa, co może doprowadzić do zniszczenia silnika. Zwiększenie zawartości biodiesla w oleju napędowym powoduje także wzrost potencjalnych problemów. Główną obawą jest odporność stosowanych materiałów na to paliwo. Ponieważ biodiesel jest mniej stabilny w porównaniu ze standardowym olejem napędowym istnieje ryzyko wadliwego działania wtryskiwaczy. Dodatkowo inna temperatura wrzenia biodiesla może spowodować problem rozcieńczenia oleju silnikowego. Jednakże obecnie obowiązujący limit do 7% zawartości biodiesla w oleju napędowym nie stanowi znaczącego problemu technicznego, niewiele problemów zostało zanotowanych w trakcie eksploatacji pojazdów.

Gazowe biopaliwa posiadają również skutki uboczne z punktu widzenia ich jakości (w związku z tym powstaje ryzyko uszkodzenia wtryskiwaczy w silniku), obecnie dostępne paliwa gazowe prawdopodobnie lepiej zużywać w silnikach stacjonarnych do produkcji energii elektrycznej.

Prawdopodobne przyszłe trendy rozwoju jakości paliw w UE to: stopniowe zakończenie stosowania MTBE na rzecz ETBE (otrzymanego z bioetanolu) w mieszankach benzynowych; zwiększone stężenie bioetanolu w mieszankach benzyn; zwiększanie zawartości FAME oraz FAEE w mieszankach oleju napędowego, w przyszłości możliwe, że pochodzących z biopaliw drugiej generacji.

Celem wprowadzanych zmian w kompozycji paliw jest znacząca redukcja gazów cieplarnianych w najbliższych latach. Jednakże występuje uboczny efekt problemu odporności stosowanych materiałów na te paliwa – obawa ta prawdopodobnie wzrośnie gdy zawartość tych składników będzie większa w paliwach sprzedawanych w UE.

#### ***Wpływ alternatywnych paliw do silników o zapłonie samoczynnym na przebieg procesu spalania oraz emisję związków szkodliwych – Federico Guglielmono, GMPT-E, Włochy***

Olej napędowy ma główną rolę w jako źródło energii do napędu pojazdu. Napędowe układy elektryczne są wciąż całkowicie zależne na technologii baterii, a alternatywa wodorowa wciąż nie jest dopracowana. Oleje napędowe mogą również być otrzymywane ze źródeł odnawialnych oraz jako paliwa alternatywne mają ważną rolę w wysiłku włożonym w zmniejszenie emisji związków szkodliwych oraz zmniejszeniu zależności od paliw kopalnych. Ponieważ różne właściwości paliw alternatywnych różnią się od



which can be analysed and correlated to temperature and soot distributions within the cylinder. Such procedures have indicated that alternative Diesels can demonstrate significantly lower peak soot concentrations during the combustion cycle. OH concentrations can be considered a proxy for autoignition phenomena and oxidation. Both GTL and FAME display similar in-cylinder OH concentrations to standard Diesel, but through a wider range of crank angles (Fig. 18). This indicates stronger soot suppression for these fuels, due to the absence of aromatic compounds in both fuels and owing to the presence of ~10 per cent oxygen in FAME B100.

FAME B100 (RME and SME) and GTL B100 were tested in a multicylinder engine at 1500 rpm, alongside standard Diesel for comparison. At 1500 rpm, the CO/NO<sub>x</sub> trade-off curve for GTL100 follows a similar trend to that of standard Diesel, but is transposed towards the origin. The alternative fuels' emissions performance varies according to the value of lambda, but both fuels outperform standard Diesel in PM emissions, particularly when  $\lambda \leq 2.2$ ; and noticeably lower HC emissions that for standard Diesel were observed at lambda values of around 1.7 and higher. Further tests on blends of RME, SME and GTL from B0-B100 at three different engine speeds reveal the performance of certain blends of these fuels to be superior to that of standard Diesel across a range of parameters, with PM showing particularly significant reductions. The only consistent exception to this is the BSFC, which was always lower for B0 Diesel. CO<sub>2</sub> emission changed relatively little. During these tests B50 blends caused no observable problems within the engine, but B100 fuel was linked to problems with the fuel injectors.

Blending can be employed to attempt to correct some of the drawbacks associated with these fuels. GTL performs well in terms of BSFC, and in terms of CO<sub>2</sub>, due to its carbon:hydrogen ratio. The BSFC of a fuel blend is directly controlled by the LHV trend of the blend components. Regarding ECU-fuel interactions, the modified LHV of fuel blends can lead to drift in the engine operating point – by up

standardowego oleju napędowego (gęstość, liczba cetanowa, itp.) odpowiednie mieszanie pozwala na produkcję paliwa o żądanej charakterystyce oraz pozwala na uzyskanie potencjalnej synergii w tym procesie.

Zastosowanie optycznego (przezroczystego), pojedynczego cylindra silnikowego pozwala na szczegółową obserwację procesu spalania, który może być analizowany oraz skorelowany z temperaturą i dystrybucją sadzy w cylindrze. Takie badania wskazały, że alternatywne oleje napędowe osiągają znacznie niższą szczytową koncentrację sadzy w trakcie cyklu spalania. Koncentracja OH może być rozważana jako pośrednia dla zjawisk samozapłonu oraz utleniania. Zarówno GTL i FAME wykazują zbliżoną koncentrację OH w porównaniu do standardowego oleju napędowego, jednak w szerszym zakresie kątów wyprzedzenia wtrysku w zależności od obrotu wału korbowego (rys. 18). Powoduje to silniejsze redukowanie sadzy dla tych paliw, z powodu braku aromatycznych związków chemicznych oraz dzięki 10% zawartości tlenu w FAME B100.

FAME B100 (RME i SME) oraz GTL B100 były badane w wielocylindrowym silniku spalinowym przy 1500 obr/min, porównawczo ze standardowym paliwem. Przy 1500 obr/min krzywa zależności emisji CO/NO<sub>x</sub> dla GTL100 ma zbliżony kształt do standardowego oleju napędowego. Emisja związków szkodliwych dla paliw alternatywnych różni się w zależności od wartości lambda oraz w przypadku obu paliw emisja PM jest niższa niż dla standardowego oleju napędowego, szczególnie gdy  $\lambda \leq 2,2$ . Zauważalnie niższa emisja HC od standardowego oleju napędowego występuje dla lambda około 1,7 oraz wyższej. Dalsze testy mieszanek RME, SME i GTL od B0 do B100 przy trzech różnych prędkościach obrotowych silnika pokazały, że rezultaty uzyskane dla tych mieszanek są lepsze niż dla standardowego oleju napędowego w szerokim zakresie parametrów, w szczególności niższa jest emisja PM. Jedyny niekwestionowany wyjątek to jednostkowe zużycie paliwa, które było zawsze niższe dla paliwa B0. Emisja CO<sub>2</sub> zmieniała się stosunkowo niewiele. W trakcie testów badawczych zastosowanie mieszaniny B50 nie powodowały zauważalnych problemów z silnikiem, jednak B100 powodowało problemy z wtryskiwaczami.

Mieszanie paliw może zostać zastosowane w celu korekcji niektórych skutków ubocznych związanych z własnościami poszczególnych paliw. GTL ma dobre właściwości z punktu widzenia jednostkowego zużycia paliwa oraz emisji CO<sub>2</sub> dzięki niższemu stosunkowi węgla/wodór. Poziom jednostkowego zużycia paliwa dla mieszaniny paliw jest ściśle związany z wartościami LHV dla otrzymanej mieszaniny paliw. Z punktu widzenia interakcji kalibracji sterownika silnika ECU i paliwa, zmiana poziomu LHV mieszaniny może spowodować 10% zmianę parametrów w punktach pracy silnika przy użyciu B100. Wyjściowa kalibracja silnika może być dostosowana do nowego typu paliwa poprzez zastosowanie systemu sterowania ze

### Optical Single Cylinder - Autoignition

- OH concentration evaluated as a marker of autoignition phenomena as well as oxidation activity (Schaberg et al.)
- Both GTL and FAME exhibit wider OH bellows than CEC, indicating a stronger soot suppression during combustion (for CA < 40deg ATDC).

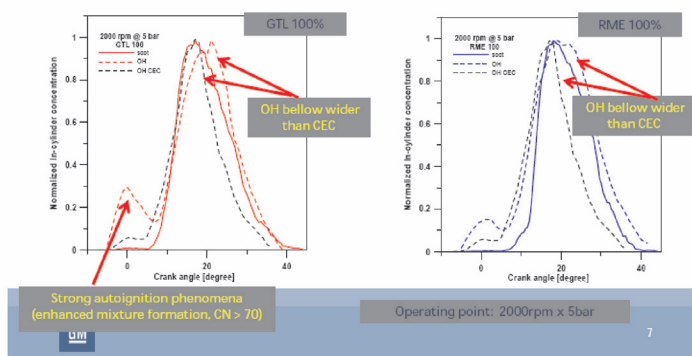


Fig. 18. Biofuel autoignition phenomena plots

Rys. 18. Schemat samozapłonu dla biopaliw

to as much as 10 per cent in the case of FAME B100. The base engine calibration can be improved for this fuel type through the application of a closed loop combustion control system to allow continuous real-time adjustment of MFB50 and IMEP. Multicylinder testing with such a system deployed revealed modest to negligible improvements for HC, CO and PM;  $\text{NO}_x$  drift was completely recovered and BSFC and  $\text{CO}_2$  remained essentially unchanged. These results confirm the high [uncontrolled] combustion efficiency of GTL.

The impact of these fuels on the modern CI engine can be divided into direct (combustion-related) and indirect (ECU-related). The fuels' various impacts are much more strongly dependent on chemical parameters (C:H ratio, aromatic content) than physical properties such as density and viscosity (which only inhibit spray formation at low speeds and pressures).

The shift in engine operating point that results from the use of fuels and blends with inferior LHVs has a heavy negative impact on  $\text{NO}_x$  and a strong positive impact on PM. Making use of in-cylinder pressure measurements permits control of the combustion process to correct some of this emissions drift, over a wide range of blends. It appears that usage of alternative Diesel fuels could be a strategy of great importance in the drive to rectify the problem of PM emission associated with CI engines.

#### **Automotive Powertrain Development: Fuels, Lubricants and Aftertreatment as Engineering Components – Michele Fucale, FPT, Italy**

Fuels, engine lubricants and exhaust line aftertreatment systems all interact and exert influences on one another. The introduction of biofuels, with differing chemico-physical properties, has complicated this relationship still further (Fig. 19). Fuels dictate the choice of materials used in the construction of the engine and its properties dictate the engine calibration, as well as the performance and emissions levels of the vehicle.

Biofuels represent an opportunity to close the carbon fuel cycle through reabsorption of emitted  $\text{CO}_2$  by the biomass used in their production. The biofuels market is dominated

sprężeniem zwrotnym pozwalając na ciągle regulowanie parametrów silnika. Badania na wielocylindrowym silniku z zastosowanym takim systemem sterowania wykazały małą lub niewielką poprawę emisji HC, CO i PM; zmiany emisji  $\text{NO}_x$  zostały ograniczone, a jednostkowe zużycie paliwa i emisja  $\text{CO}_2$  pozostały zasadniczo niezmiennione. Te wyniki potwierdziły wysoką sprawność spalania przy zastosowaniu paliwa typu GTL.

Wpływ tych paliw na nowoczesne silniki o zapłonem samoczynnym można podzielić na bezpośredni (spalanie) oraz pośredni (związany ze sterownikiem ECU). Wpływ składników paliw jest bardziej uzależniony od ich chemicznych właściwości (stosunek C:H, składniki aromatyczne) niż właściwości fizycznych takich jak gęstość i lepkość (które mogą jedynie hamować formowanie się mieszaniny paliwa z powietrzem przy niskich prędkościach obrotowych i ciśnieniach). Zmiana punktu pracy silnika, która wynika z zastosowania paliwa lub mieszanki z niższym LHV ma negatywny wpływ na emisję  $\text{NO}_x$ , ale pozytywny wpływ na emisję PM. Zastosowanie pomiaru ciśnienia spalania w cylindrze pozwala sterować procesem spalania w celu korekcji zmian emisji w szerokim zakresie mieszanek paliw. Okazuje się więc, że zastosowanie alternatywnych paliwa do silników ZS może być bardzo istotne w zmniejszeniu problemu emisji PM w tego typu silnikach.

#### **Rozwój jednostek napędowych: paliwa, oleje, oraz systemy oczyszczania spalin jako główne elementy – Michele Fucale, FPT, Włochy**

Paliwa, oleje silnikowe oraz systemy oczyszczania spalin wzajemnie na siebie oddziałują. Wprowadzenie biopaliw, z ich odmiennymi właściwościami fizyko-chemicznymi skomplikowało wzajemne oddziaływanie tych składowych (rys. 19). Paliwa decydują o doborze materiałów konstrukcyjnych silnika, a ich właściwości decydują o kalibracji silnika, jak i o osiąгах oraz emisji pojazdu. Biopaliwa zwiększają możliwość zamknięcia obiegu paliw węglowych poprzez reabsorbację wyemitowanego  $\text{CO}_2$  przez biomasę użytą podczas ich produkcji.

Rynek biopaliw jest zdominowany przez Brazylię i Północną Amerykę, gdzie produkcja bioetanolu zdecydowanie przewyższa produkcję biodiesla, odwrotnie niż w Europie. Estry metylowe oleju rzepakowego są najbardziej powszechne w użyciu w Europie. Specyfikacje tych paliw różnią się w zależności od regionu geograficznego, a także parametrów (np. gęstości, zawartości estrów metylowych kwasu linolenowego), które są regulowane tylko przez niektóre rynki.

Stosowanie paliwa B30, w wysokoprężnych silnikach zasilanych nieprzystosowanym systemem Common-Rail, może powodować niepożądane efekty, tj. zmniejszanie uzyskiwanego momentu oraz mocy, znaczny ( $\geq 60\%$ ) wzrost zawartości HC oraz CO w spalinach, problemy z rozruchem silnika w temperaturze poniżej  $-5^\circ\text{C}$ , możliwość występowania korozji, powstawanie wytrąceń i osadów w paliwie podczas transportu i składowania, pogorszenie właściwości elastomerów, rozcieńczanie olejów silnikowych, oraz wpływ na fazę regeneracji DPF-u. Zarówno zadymienie oraz temperatura spalin są niższe dla B100

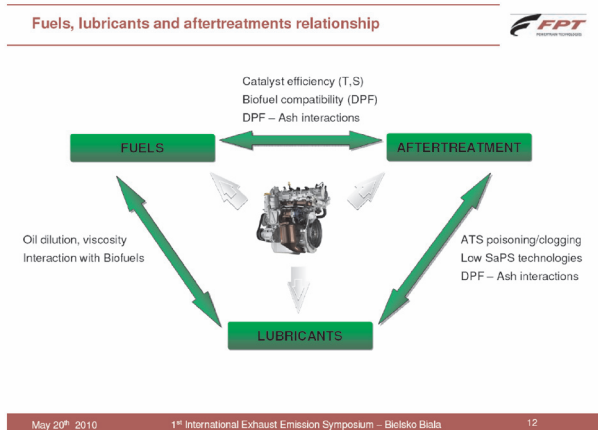


Fig. 19. Fuel-lubricant-aftertreatment interactions

Rys. 19. Zależność pomiędzy paliwami, olejami silnikowymi i systemami oczyszczania spalin

by Brazil and North America, where bioethanol production far exceeds biodiesel production. In the Europe, the inverse is true. Rapeseed methyl ester is the most common variety in use in Europe. Specifications for these fuels differ by geographical area, and certain parameters (e.g. density, linolenic acid methyl ester content) are regulated in some markets but not in others. The use of B30 fuel in unmodified common rail CI engines can lead to certain disadvantageous effects, including: reductions (of the order of a few percent) in maximum obtainable power and torque; substantial ( $\geq 60\%$ ) increases in tailpipe HC and CO emissions; start-up difficulties at temperatures below  $-5^{\circ}\text{C}$ ; the potential of corrosion, deposition and sedimentation in the fuel storage and delivery systems; deterioration of elastomers; dilution of engine oils; and implications for DPF regeneration phases. Exhaust smoke and turbine inlet temperature are also both lower for B100 fuel than for standard Diesel; the latter can require re-calibration of the ECU. The opacity of the exhaust gas reduces in proportion to biodiesel blend content; the trend is steeper for Euro 5 vehicles than for Euro 4.

Instances of injector failure within the French CI vehicle fleet have been unambiguously linked to impurities (sodium, zinc) in biodiesel blends as 'weak' as B7. However, a new design of detergent additive not only prevents fouling and power loss, it can remediate existing injector debris through a clean up phase. The emergence of second generation biodiesels brings many advantages, not least the fact that they are chemically indistinguishable from their conventional counterparts, and do not compete with food production. As better feedstocks are exploited, and conversion processes perfected, biofuel content is likely to increase in many markets – E10 could soon be a new global standard. Optimal injection timing schemes differ significantly for ethanol and gasoline, but inputting these data into the ECU, together with the percentage blend of the fuel, can optimise injection timing for the specific blend in question.

Aftertreatment systems have evolved in response to – and in anticipation of – legislative requirements. The Euro 6 standard for Diesel-fuelled vehicles requires a DOC/DPF and SCR or LNT system for oxidation, particulate filtering and  $\text{NO}_x$  aftertreatment to meet its stringent standards. While the use of biodiesel in fact increases the efficiency of DPF regeneration, the higher temperatures and steeper thermal gradients observed were found to lead to the formation of cracks in the DPF, which would cause non-compliance with the demands of Euro 5. Engine oil dilution in biofuels has been measured and provides a clear explanation for observed clogging of a substantial portion of the DPF with sintered ash. Thus, it is clear that lubricants can play a vital role in enabling practical and safe usage of biofuels, as well as with questions of friction (with the attendant implications for fuel economy), bearing wear and excessive powertrain temperatures.

#### **Biofuel Reforming Effects on Emissions – Prof. Mirosław Wyszynski, et al., Birmingham University, UK**

Processes commonly used in the chemical industry for the recovery of the thermochemical energy content of exhaust outputs can be applied in automobiles. The benefits obtained

w porównaniu do standardowego oleju napędowego, może być jednak konieczna ponowna kalibracja jednostki sterującej silnikiem (ECU). Nieprzezroczystość spalin spada wraz ze wzrostem zawartości biokomponentów w mieszaninie, zależność ta jest wyraźniejsza dla pojazdów Euro 5 niż dla Euro 4.

Przypadek awarii wtryskiwaczy we francuskich samochodach napędzanych silnikami wysokoprężnymi, jednoznacznie został powiązany z zanieczyszczeniami (sód, cynk) występującymi w mieszaninach biopaliw, nawet tak nieznacznych jak B7. Jednakże nowo zaprojektowane dodatki oczyszczające nie tylko zapobiegają awariom i spadkowi mocy, ale także są w stanie zredukować osady we wtryskiwaczach podczas fazy czyszczenia.

Wyjściem z tej sytuacji jest druga generacja biopaliw, która charakteryzować będzie się licznymi zaletami, nie tylko tym że będą chemicznie nie do odróżnienia od ich konwencjonalnych odpowiedników, ale także nie będą stanowiły zagrożenia dla produkcji żywności. W miarę coraz lepszego wykorzystywania surowców i ulepszenia procesów przetwarzania, zawartość biopaliw będzie wzrastać na wielu rynkach – E10 może stać się nowym światowym standardem. Optymalny czas wtrysku różni się znacząco dla etanolu i benzyny, ale wpisując te dane do ECU, razem z procentem mieszaniny paliwowej, można zoptymalizować czas wtrysku dla poszczególnych mieszanin.

Systemy oczyszczania spalin rozwijają się w odpowiedzi na wymagania legislacyjne, zarazem je wyprzedzając. Norma Euro 6 dla samochodów zasilanych olejem napędowym, wymaga stosowania DOC razem z DPF oraz układu SCR lub LNT dla utleniania, filtrowania cząstek stałych i eliminacji  $\text{NO}_x$  aby sprostać surowym wymaganiom.

Stosowanie regeneracji w rzeczywistości usprawnia funkcjonowanie regeneracji DPF-u, Jednak zaobserwowane podczas regeneracji wyższe temperatury i duży gradient temperatur prowadziły do powstawania pęknięć filtrów DPF, co z kolei byłoby przyczyną niesprostania wymogom Euro 5.

Rozcieńczenie oleju silnikowego przez biopaliwa zostało zbadane i prowadzi do jasnego wytłumaczenia dla zaobserwowanego zatykania DPF-u znaczącymi ilościami zabezpieczonych pyłów. Uwydatniło to rolę olejów silnikowych jaką pełnią, umożliwiając praktyczny rozwój i bezpieczne użytkowanie biopaliw, a zarazem ich wpływ na zagadnienie tarcia (w związku z wpływem na zużycie paliwa), zużywania się łożysk i nadmiernych temperatur jednostek napędowych.

#### **Wpływ reformowania paliw na emisję związków szkodliwych – Prof. Mirosław Wyszynski, Birmingham University, Anglia**

Procesy odzyskiwania termochemicznej energii zawartej w spalinach powszechnie wykorzystywane w przemyśle chemicznym, mogą być zastosowane w motoryzacji. Korzyść uzyskiwana podczas stosowania systemów EGR, może być zwiększona poprzez dodatek nawet małej ilości wodoru do tego procesu – projekt znany jako zreformowany EGR.

from EGR systems can be increased through the addition of even small quantities of hydrogen to this process – a concept known as reformed EGR.

On board production of hydrogen from HC sources is achievable through three main reaction paths: steam reforming, direct partial oxidation and thermal decomposition. Exhaust gas reforming uses all three mechanisms in conditions of direct contact between exhaust gases and HC fuel, over a catalyst. Water and oxygen from the exhaust gas are used as reagents in a series of reactions that ultimately produce carbon dioxide and hydrogen. The considerable heat output of the IC engine is made use of to provide the energy for this endothermic reaction (normally, up to 70 per cent of the chemical energy in the fuel is wasted as heat). The product (reformat) partially replaces standard fuel in the engine's operation. Figure 20 shows a schematic of this concept. Formation of reformed gas with hydrogen content of up to 30 per cent is possible at high load. At lower loads this value drops to 20 per cent, but it may even be possible to produce hydrogen at idle. This energy recovery process improves the calorific value of the fuel and eliminates the well-known  $\text{NO}_x$ /PM trade-off – both parameters can be reduced simultaneously, when the injection timing is also retarded by 3 degrees. Usage of natural gas (NG) in SI engines fitted with EGR systems can lead to unacceptably large coefficients of variation of the IMEP. However, adding reformed fuel to the EGR process can bring the COV value back under its limit of 5 per cent.

### How Does it Work in a SI Engine?

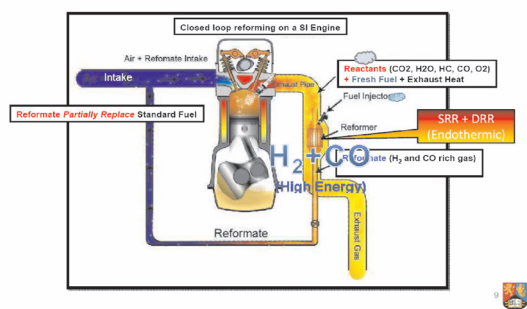


Fig. 20. Exhaust gas reformation schematic

Rys. 20. Reformowanie gazów wylotowych

Reformed fuel brings specific benefits according to engine type. For gasoline engines, the addition of reformed fuel has been found to reduce emission of aromatic compounds by up to almost 75 per cent for certain base fuels. In CI vehicles, the addition of hydrogen assists the DOC in the conversion of  $\text{NO}$  to  $\text{NO}_2$ , and allows this device to operate over a wider temperature range, which consequently results in reduced soot loading. Hydrogen-enriched fuel might make HCCI engines more of a reality, even multi-cylinder versions. Indeed, HCCI operation with biogas at moderate intake temperatures is only possible with the addition of hydrogen.  $\text{NO}_x$  emissions show a small improvement for this

Produkcja wodoru z HC zawartych w spalinach jest osiągalna przez trzy metody: reformowanie pary, bezpośrednie częściowe utlenianie oraz rozkład cieplny. Reformowanie spalin wykorzystuje wszystkie trzy metody w warunkach bezpośredniego kontaktu spalin z paliwem węglowodorowym w katalizatorze. Woda i tlen, pochodzące ze spalin, są używane jako reagenty w kolejnych reakcjach, ostatecznie wytwarzając dwutlenek węgla oraz wodór. Znaczące wydzielane ciepło przez silniki spalinowe może być użyte do zapewnienia energii w procesie endotermicznej reakcji (w typowych warunkach do 70% ciepła, energii chemicznej z paliwa, jest marnowane w postaci ciepła). Produkty (prereformowane) częściowo zastępują normalne paliwo w procesie pracy silnika. Rys. 20 prezentuje schemat tego procesu. Tworzenie zreformowanych gazów z zawartością wodoru do 30% jest możliwe przy wysokich obciążeniach. Przy niższych obciążeniach wartość ta spada do 20%, ale jest też możliwe wytwarzanie wodoru na biegu jałowym. Proces odzyskiwania energii poprawia kaloryczność paliwa i eliminuje dobrze znaną wymianę  $\text{NO}_x$  na PM, i odwrotnie – parametry te mogą być obniżane równolegle, kiedy czas wtrysku jest opóźniony o 3 stopnie.

Zastosowanie gazu ziemnego (NG) w silnikach o zapłonie iskrowym wyposażonych w EGR, może prowadzić do nieakceptowalnie dużych współczynników zmienności średniego indykowanego ciśnienia efektywnego. Jednakże stosowanie zreformowanego paliwa w procesie EGR-u, może przywrócić współczynnik zmienności (COV) do akceptowalnej wartości poniżej limitu 5%.

Zreformowane paliwo dostarcza określonych korzyści w zależności od typu silnika. Dla silników benzynowych, dodawanie paliw reformowanych redukowało emisję związków aromatycznych prawie o 75% dla niektórych paliw bazowych. Dla silników o zapłonie samoczynnym, dodatek wodoru wspomaga DOC w przemianie  $\text{NO}$  na  $\text{NO}_2$  i umożliwia działanie w większych zakresach temperatur, czego konsekwencją jest zmniejszenie ilości akumulowanej sadzy. Paliwo wzbogacone wodorem może uczynić silniki HCCI bardziej realnymi, nawet w wersjach wielocylindrowych. Właściwie, działanie HCCI z biogazami przy umiarkowanych temperaturach dolotu jest tylko możliwe z dodatkiem wodoru. Ten typ silników charakteryzuje się nieznacznie zmniejszoną emisją  $\text{NO}_x$ . Dla wzbogaconych paliw wodorowych, reformowany EGR zapewnia znaczące korzyści.

Reformowanie paliwa ma wiele możliwych korzystnych zastosowań: silniki ZI – ogólne poprawienie emisji i sprawności ogólnej, HCCI – zwiększony zakres obciążeń, łatwe zapoczątkowanie procesu spalania dla tego czystego i wydajnego typu silników, silniki ZS – wyeliminowało dylemat charakterystycznego kompromisu  $\text{PM-NO}_x$  (tylko stosowany w połączeniu z właściwymi zmianami faz rozrządu)

Hybrydy- optymalizacja silników spalinowych dla jednego lub dwóch zakresów pracy oraz redukcja emisji przy zimnym starcie dla wielu typów silników.

Nadrzędnym celem jest uzyskanie tych możliwych zalet. Zagadnieniami bliskiej przyszłości są: optymalizacja projektów (konstrukcji) reformujących reaktorów oraz dynamiki

engine type when hydrogen-enriched fuel is used; reformed EGR yield a substantial benefit.

Fuel reforming has many potential applications, all of great interest: in SI engines – general improvements in emissions and overall efficiency; HCCI – extend load range, ease initiation of combustion process for this clean and efficient engine type; in CI engines – remove the dilemma of the normal PM-NO<sub>x</sub> trade-off (only applicable in conjunction with appropriate changes to engine timing); hybrids – optimise IC engine for one or two regimes; and cold start emissions reduction for many engine types.

Given all these realisable advantages, research is paramount. Topics for the near future include optimising reformer reactor designs and fluid dynamics, optical diagnostics of reformers and combustion chambers, design and perfection of a combined TWC/reformer unit and detailed product analysis.

#### **Impact of Low Ash Lubricants on DPF Functionality for Light-Duty Applications – Gianni Ceconello, Petronas, Italy**

Efforts have been ongoing for several years to reduce the deposition of ash and particulates in exhaust aftertreatment systems, particularly diesel particulate filters. Engine oils have a key role to play in these efforts, and research is ongoing.

Tests were conducted on standard 5W-30 engine oil, and a 5W-30 equivalent low in SAPs (sulphated ash phosphorous and sulphur). The low SAPs oil was found to contain 25 per cent less phosphorous and 33 per cent less sulphur. Combustion of the oil to obtain a dry residue revealed the low SAPs oil had an ash content of 0.8 per cent, compared with 1.1 per cent for the standard oil.

Eight hundred hours of testing were performed on each oil in an engine fuelled with standard Diesel fuel. The oil was drained and replaced after 400 hours. The test cycle

cieczy, optyczna diagnostyka reaktorów do reformowania oraz komór spalania, projektowania i ulepszanie połączonych jednostek trójfunkcyjnych reaktorów katalitycznych/reaktorów reformujących oraz uszczegółowiona analiza produktów.

#### **Wpływ olejów o niskiej skłonności do tworzenia zanieczyszczeń na funkcjonowanie filtrów cząstek stałych dla samochodów – Gianni Ceconello, Petronas, Włochy**

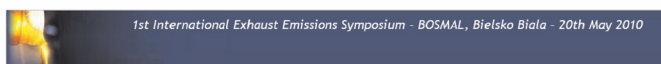
Od wielu lat są prowadzone prace w celu zredukowania osadów pyłów i cząstek stałych w systemach katalitycznego oczyszczania spalin, w szczególności filtrach cząstek stałych. Oleje silnikowe odgrywają kluczową rolę w prowadzonych badaniach.

Badania są prowadzone na olejach typu 5W-30 oraz na odpowiadającym 5W-30 o niskiej zawartości SAPs (siarkowych pyłów fosforowych i siarki). Olej o obniżonym SAPs zawiera do 25% mniej fosforanu i o 33% mniej siarki. Po spalaniu oleju nie powstają wilgotne osady, olej o niskim poziomie SAPs daje 0,8% sadzy w porównaniu do 1,1% dla standardowego oleju.

Zostały przeprowadzone 800 h testy dla każdego z typów olejów na silnikach zasilanych standardowym olejowym napędowym. Olej był wymieniany po 400 h pracy w silniku. Silnik pracował w zmiennych cyklach obciążeń, około 22% cyklu było realizowane przy mocy maksymalnej, a na biegu jałowym silnik pracował przez około 6% cyklu. Filtr DPF, który był obiektem badawczym, był ważony co 100 h w celu wyznaczenia poziomu akumulacji sadzy w filtrze. Pomiar temperatur i ciśnienia były wykonywane przed i za filtrem DPF.

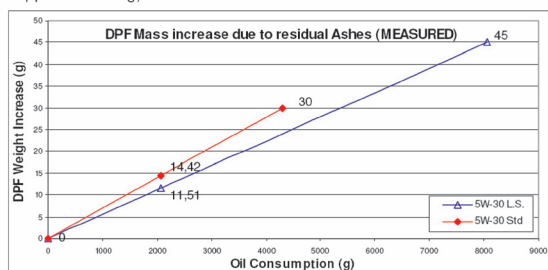
Zużycie oleju było wyższe dla olejów o niskim poziomie SAPs, spowodowane to było przez różnice w zużyciu części silnika. Lepkość olejów o niskim SAPs – która była nieznacznie wyższa na początku testu badawczego testu- wzrosła nieco bardziej podczas testu w porównaniu do zwykłego oleju. Pomiar sadzy pokazały małą różnicę pomiędzy tymi dwoma olejami, ale za to po wymianie oleju o niskim poziomie SAPs wartość ta zmniejszyła się niemal porównywalnie do standardowych olejów. Całkowita liczba zasadowa jest to pomiar poziomu zasadowości oleju przez co olej uzyskuje zdolności przeciwdziałaniu efektowi zużycia przez związki kwasowe. Zaobserwowano podobną zmianę trendu wartości TBN dla obydwu olejów w trakcie 800 godzin testu. Jednakże większa wartość początkowa TBN, oznaczała że olej o niskim poziomie SAPs wykazywał większą wartość TBN podczas całego testu. Zaobserwowane zawartość żelaza wzrastała w sposób nierówny i trochę szybciej, w olejach o niskim poziomie SAPs. Tendencja wzrostu zawartości się aluminium była dość podobna dla obydwóch olejów.

Zaobserwowany poziom zużycia oleju przebiegał liniowo i był dostosowany do przyrostu masy filtra DPF, i tak jak to było oczekiwane, olej o niskim poziomie SAPs dawał znaczącą poprawę tego efektu. Po zużyciu 5 kg oleju, przyrost wagi filtra DPF



#### **DPF deposits vs oil consumption:**

Mass increase measured every 100 h after regeneration step (New DPF weight approx. 13400 g)



RESEARCH & DEVELOPMENT

PETRONAS LUBRICANTS INTERNATIONAL

PETRONAS

Fig. 21. DPF ash deposition results for standard and low SAPs oils

Rys. 21. Wyniki pomiarów osadzania się sadzy w filtrze DPF dla olejów standardowych oraz olejów o niskim SAP

was a ramped transient cycle with the engine operating at maximum power for some 22 per cent of the cycle; idle time was 6 per cent. As the DPF was the focus of the investigation, it was weighed every 100 hours to quantify accumulation. Temperature and pressure measurements were taken at the catalyst inlet and outlet ports.

Oil consumption was found to be higher for the low SAPs oil, due to differences in engine wear effects. The viscosity of the low SAPs oil – which was found to be slightly higher at 0 hours testing – increased somewhat more rapidly during testing than the standard oil. Soot measurements reflected a small difference between the two oils, but after the oil change the low SAPs oil's value reduced to close to that of the standard oil. The total base number is a measurement of the alkalinity of a lubricant and therefore its capacity to protect against the damaging effects of any acids in the system. The TBN was found to change over time, with both oils following a broadly similar trend through the 800 hours. However, the higher TBN starting value (i.e. at 0 hours) meant that the low SAPs oil exhibited larger TBN values during the entire test period. Concentrations of iron were found to rise in a more erratic fashion, and very slightly more rapidly, in the low SAP oil. The trend of aluminium build-up in the oil was roughly similar for both oils.

Oil consumption was found to be a perfect linear fit with the increased mass of the DPF, and, as expected, the low SAPs oil gave a significant clear advantage in this respect. After around 5 kg of oil consumption, the DPF weight increase was significantly lower for the low SAPs oil than for the standard oil (Fig. 21). These figures of weight increase of the DPF for both oils were some 30 per cent lower than calculations had previously suggested, although the difference in the DPF's added mass between the two oils was found to be smaller than predicted. Usage of the low SAPs oil enables a reduction of the DPF accumulation rate, thereby extending its

był znacząco niższy dla olejów o niskim poziomie SAPs, w porównaniu do olejów o wysokim poziomie SAPs (rys. 21). Schemat przyrostu wagi filtra DPF dla obydwóch olejów, przedstawiał wartości o 30% niższe od wartości wcześniej zakładanych, chociaż różnica pomiędzy olejami, w zakresie wzrostu masy filtra DPF, była mniejsza niż przewidywano. Stosowanie olejów o niskim poziomie SAPs umożliwiło zredukowanie stopnia akumulacji sadzy w filtrze, zarazem wydłużając ich okres stosowania aż o 25%, bez zmiany wartości zużycia oleju. Ewentualnie może to umożliwić zredukowanie wymiarów filtra DPF, przez co mogłaby się zmniejszyć się jego 13 kg masa.

#### Wyzwania dotyczące jakości i składu paliwa w celu redukcji poziomu emisji związków szkodliwych spalin – Agnieszka Snieguła, PKN Orlen, Polska

PKN ORLEN produkuje cztery rodzaje paliw benzynowych; benzyna bezołowiowa LOB 95 i benzyna bezołowiowa 95 z dodatkiem eteru stanowią większość sprzedaży benzyn. Przedsiębiorstwo wytwarza trzy rodzaje oleju napędowego, gdzie Ekodiesel Ultra stanowi 90% sprzedaży. Jeżeli chodzi o stosowane składniki do produkcji, paliwa Orleń wykazują odmienną strukturę [kompozycje] ze względu na pewne składniki, i podobny poziom innych składników. Przykładowo, zawartość związków aromatycznych różni się nieznacznie w benzynach, podczas gdy różnice w zawartości ciężkiej benzyny i ETBE są większe.

Norma EN 228:2009 wyznacza wymagania dla paliw bezołowiowych, i określa wiele parametrów włącznie z LOB i LOM, gęstość, zawartość siarki, zawartość związków aromatycznych i związków tlenowych (i innych). Odpowiadającą normą dla olejów napędowych jest norma EN 590:2009, która określa liczbę cetanową, maksymalną zawartość PAH oraz zawartość siarki, smarność itp.

Zatwierdzenie do stosowania europejskiej, unijnej dyrektywy dotyczącej jakości paliw ustanowi nowe, wyższe limity dla benzyn i olejów napędowych. Dla benzyn maksymalna zawartość etanolu i eteru, będzie odpowiednio stanowić objętościowo 10% i 22%, zawartość związków tlenowych jest ograniczona do 3,7% masowo. Dla olejów napędowych maksymalny poziom PAH i FAME jest wyznaczony objętościowo odpowiednio na 8% i 7%. Normy paliw wymagają zmian w produktach bazowych, procedurach i przez to w stosowanym wyposażeniu produkcyjnym i infrastrukturze, wszystko to dodaje dodatkowe koszty do procesu produkcji i dlatego stanowi znaczące wyzwanie dla przemysłu paliwowego.

Propozycja która została przedstawiona w normie zakłada zredukowanie lotności paliwa. Lżejsze składniki paliwa, które podnoszą lotność, mają największy wpływ na emisję podczas zimnego rozruchu silnika. Planowane zmiany odnoszące się do parametrów rektyfikacji benzyny nie mogą wpływać na własności trakcyjne samochodów zarówno w czasie

#### Diesel oil – exhaust emission

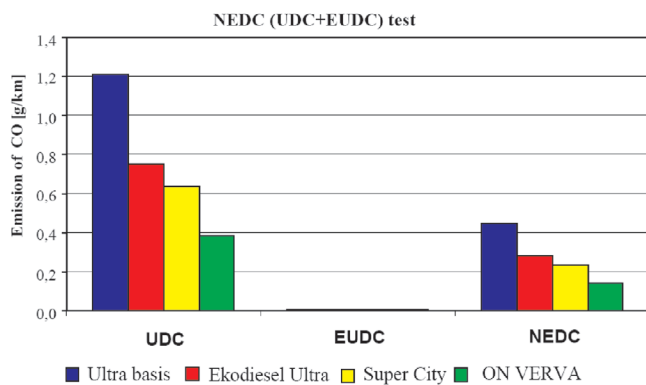


Fig. 22. CO emissions results for four Diesel fuels

Rys. 22. Poziom emisji CO dla badanych olejów napędowych

lifetime by up to 25 per cent, without any change to oil consumption rates. Alternatively, it might be possible to reduce the size of the DPF and thus lower its 13 kg mass somewhat.

### **Challenges Regarding the Quality and Compositions of Fuel for Reducing Exhaust Emission – Agnieszka Sniegula, PKN Orlen, Poland**

The Orlen fuel company produces four gasoline fuels, with their Unleaded 95 and Unleaded 95 with added ethers accounting for the majority of sales. The company also produces three Diesel fuels, with Ekodiesel Ultra accounting for over 90 per cent of sales. In terms of constituents, Orlen's petrol fuels show different compositions regarding certain compounds, and similar levels of other compounds. For instance, there is relatively little variation in aromatic content for the gasoline fuels, whereas the naphtha and ETBE contents vary widely.

EN 228:2009 sets out requirements for unleaded fuels, and specifies many parameters, including RON, MON, density, sulphur content, aromatic content, and oxygenate content (among others). The equivalent standard for Diesel fuels is EN 590:2009, which specifies cetane number, maximum PAH and sulphur content, lubricity, etc. Maximum PAH content may be enforced by law in the near future.

Entry into force of the EU's Fuel Quality Directive will set new upper limits for both petrol and Diesel fuels. For petrol the ethanol and ether maximum content will be 10 and 22 per cent v/v respectively and the oxygen content is limited to 3.7 per cent m/m. For Diesel, maximum levels of PAH and FAME are set as 8 and 7 percent v/v respectively. Fuel standards require changes in sources, procedures and therefore equipment and infrastructure, all of which add cost to the process and therefore represent a significant challenge to the fuels industry.

Proposals have been submitted to reduce the volatility of petrol. Lighter components of petrol, which raise volatility, have the most effect on cold start emissions. Planned changes to the distillation parameters of gasoline fuels are unlikely to affect the hot and cold weather driveability of modern vehicles. In recognition of the different operating conditions engines face in hot and cold weather, Orlen sells seasonal mixes of fuels, with properties that vary slightly to maximise aptness for the time of year. However, all legislative requirements regarding composition and quality must be met 365 days a year.

In collaboration with BOSMAL Automotive Research and Development Institute, emissions tests were carried out on two petrol fuels from Orlen. Unleaded 95 with 6 per cent EtOH content v/v and another fuel with 15 per cent EETB were both tested in the same vehicle over the NEDC test. The EETB blend produced lower emissions of CO, HC and NO<sub>x</sub> than the EtOH blend and this fuel, with a significant proportion of biocomponents, met the demands of the Euro 4 standard, probably thanks to a highly efficient catalytic reactor. The blend with added ETTB also caused less deposition on the inlet valve, than the fuel with added EtOH. Standard Unleaded 95 petrol was tested against a blend with 5 per cent

użytkowania w warunkach zmiennej pogody, zimowych jak i letnich.

Uwzględniając różne warunki pracy, gdzie silnik jest użytkowany przy z ciepłej i zimnej pogodzie, Orlen oferuje sezonowe mieszanki paliw, o nieznacznie zmienionych właściwościach, maksymalizując ich dostosowanie do danej pory roku. Jednakże, wymagania przepisów dotyczące składu i jakości paliw przestrzegane są przez okrągły rok.

We współpracy z Instytutem BOSMAL, zostały przeprowadzone badania emisji związków szkodliwych spaliny na dwóch rodzajach paliw produkowanych przez Orlen. Benzyna bezołowiowa LOB 95 o zawartości 6% EtOH objętościowo oraz inne paliwo o zawartości 15% EETB, zostały poddane badaniom na tym samym pojeździe w teście NEDC. Przy zastosowaniu paliwa z EETB uzyskano niższą emisję CO, HC i NO<sub>x</sub> niż dla paliwa z dodatkiem EtOH, i to paliwo, ze znaczącą zawartością biokomponentów, sprostało wymaganiom normy Euro 4, pomocny był też cechujący się dużą sprawnością reaktor katalityczny TWC. Zastosowanie benzyny z dodatkiem EETB, spowodowało utworzenie mniejszych osadów na zaworach dolotowych, w porównaniu do paliwa z dodatkiem EtOH. Standardowa benzyna bezołowiowa LOB 95 była porównywana z benzyną o objętościowej zawartości 5% EtOH na samochodzie o przebiegu 60 000 km. Benzyna z dodatkiem EtOH powodowała nieznacznie niższą emisję węglowodorów i CO, ale za to trochę większą emisję NO<sub>x</sub> oraz CO<sub>2</sub>. Różnice w zużyciu paliwa były niemierzalne. Obydwa paliwa spełniały wymagania normy Euro 4.

BOSMAL przeprowadził także badania parametrów silnika: mocy, momentu, emisji związków szkodliwych oraz zużycia paliwa na czterech rodzajach oleju napędowego produkowanego przez Orlen. Różnice w pomiarach momentu obrotowego i mocy były pomijalne lub bardzo małe dla obrotów od 1000 obr/min do 5000 obr/min. Wyniki pomiaru zużycia paliwa wykazały większe różnice dla ON Verva, której zastosowanie wpłynęło na poprawę wyników. W teście emisji NEDC paliwo charakteryzowało się znacznie niższą emisją CO (rys. 22) i HC, a emisja NO<sub>x</sub> oraz CO<sub>2</sub> była nieco niższa w porównaniu do innych testowanych paliw. Odmiana Ekodiesel paliwa Ultra Diesel produkowanego przez Orlen charakteryzowała się mierzalnie niższą emisją niż odmiana bazowa Ultra Diesel.

Dostawcy paliw drogowych będą musieli zmierzyć się w najbliższej przyszłości z nowymi wyzwaniami. Dla benzyn najważniejsze cele są następujące: obniżyć ciśnienie parowania, zredukować zawartość siarki, benzenu, związków aromatycznych, oraz alkenów (olefin), zwiększyć użycie dodatków uszlachetniających pod kątem ich wpływu na osady w silniku, oraz dodatków tlenowych. Dla olejów napędowych należy zredukować zawartość: siarki i PAH, zwiększyć liczbę cetanową oraz zawartość dodatków uszlachetniających, zmniejszając zarazem gęstość paliwa.

### **Podsumowanie**

Prezentacje opisane powyżej przedstawiają przegląd aktualnego i przyszłego stanu światowych przepisów prawnych dotyczących ograniczania emisji związków szkodliwych

v/v EtOH on a vehicle with a mileage of 60 000 km. The EtOH blend showed slightly lower emissions of HC and CO, but slightly higher levels of NO<sub>x</sub> and CO<sub>2</sub>. Any difference in fuel consumption was unmeasurable. Both fuels easily met Euro 4 requirements.

BOSMAL also conducted power, torque, emissions and fuel consumption tests on four Orlen Diesel fuels. Variations in torque and power were negligible to very small over the range 1000-5000 rpm. Fuel consumption data showed greater variation, with the ON Verva mix clearly performing best in this area. In emissions test carried out over the NEDC this fuel was shown to be characterised by substantially lower emissions of CO (Fig. 22) and HC; emissions of NO<sub>x</sub> and CO<sub>2</sub> were slightly lower than the other fuels tested. The Ekodiesel version of Orlen's Ultra Diesel fuel has measurably lower emissions than the base version (Orlen Ultra).

Suppliers of road fuels will face multiple challenges in the next few years. For gasoline: reducing vapour pressure; reducing sulphur, benzene, aromatic and olefin contents; increasing the use of performance additives – with implications for engine deposits; and increasing oxygenate contents. For Diesel: reducing sulphur and PAH content; raising the fuel cetane number; increasing the use of performance additives; and decreasing the density of the fuel.

## Conclusions

The papers described above represent a broad review of the current situation in emissions legislation and possible ways of reducing emissions. Likely changes in the years to come have also been discussed. Several issues surfaced multiple times, thereby highlighting their importance and relevance to different automotive sectors.

A common theme was the coming scheduled and expected lowering of maximum exhaust emissions levels for all vehicle types, across multiple markets. The lower emissions these legal moves will require will impact on test methods and laboratory design, with increasingly high standards of detection required. Legal limits for the number of particles will also alter laboratory design and test procedures, and an increasingly global view of automotive emission regulation may lead to the introduction of tougher limits tested over different cycles, all of which will change the way in which emissions testing is performed.

International political and consumer pressure to reduce fuel consumption – and therefore CO<sub>2</sub> emission – as well as of harmful emissions and air quality legislation at multiple levels will all lead to efforts by manufacturers to produce more fuel efficient vehicles, some of which will operate on alternative fuels and feature hybrid drivetrains.

Fuels will continue to evolve to reflect the dynamic market conditions and new legal standards. The balancing of the twin demands of emissions reduction and trouble-free usage dictate certain properties of the fuel, which can be obtained via blending. Biofuels, already in limited use, are much more of a reality for the next few years than hydrogen. Biofuels are not without their problems, but certain blends have clear, eminently measurable advantages in terms of certain types of emission, and their physical properties cause few to no

spalin oraz rozwiązań konstrukcyjnych pozwalających na redukcję emisji. Prawdopodobne zmiany w przepisach, które pojawią się w przyszłości zostały także przedstawione i przedyskutowane. Niektóre problemy związane z emisją różnych związków szkodliwych pojawiły się na przestrzeni ostatnich lat, należy również zwrócić uwagę na problemy związane z emisją pojawiające się w innych zastosowaniach silników spalinowych, nie tylko w transporcie.

Ważnym tematem było zbliżające się, zaplanowane obniżenie maksymalnych dopuszczalnych limitów emisji związków szkodliwych dla wszystkich pojazdów, na różnych światowych rynkach. Zmiany w wymaganiach prawnych dotyczących obniżania emisji, wpłyną na metody badawcze oraz projektowanie laboratoriów badawczo-pomiarowych, na wprowadzanie zdecydowanie dokładniejszych metod pomiarowych poziomu emisji. Limity dotyczące ograniczenia liczby cząstek stałych także zmieniają metody pomiarowe tych związków w laboratoriach. Globalne spojrzenie i regulacje prawne dotyczące emisji związków szkodliwych ze źródeł motoryzacyjnych może doprowadzić do dalszego zaostrzenia limitów w czasie testów wykonywanych w różnych cyklach badawczych a także dalszych zmian w procedurach wykonywania tych badań.

Międzynarodowe naciski polityków i konsumentów w celu zredukowania zużycia paliwa a co za tym idzie emisji CO<sub>2</sub>, jak również emisji związków szkodliwych i poprawy jakości powietrza będą wywierać wpływ na producentów w kierunku produkowania pojazdów zużywających mniej paliwa, zasilanych paliwami alternatywnymi lub wyposażonych w hybrydowe zespoły napędowe.

Produkcja paliw silnikowych będzie podlegać ciągłemu rozwojowi aby sprostać dynamicznie zmieniającym się rynkowi i nowym standardom prawnym. Balansowanie pomiędzy dwoma najważniejszymi wymogami, redukcji emisji związków szkodliwych i niezawodności (podczas eksploatacji), dyktują specyficzne cechy paliwa uzyskiwane przez stosowanie domieszek specjalnych komponentów. Szersze zastosowanie biopaliw, w ograniczonym stopniu już wykorzystywanych obecnie, w przeciągu kilku następnych lat jest bardziej prawdopodobne niż zastosowanie wodoru jako paliwa. Biopaliwa nie są pozbawione wad, ale szczególnie ich mieszaniny z olejem napędowym posiadają określone, mierzalne zalety pod kątem emisji poszczególnych związków szkodliwych spalin, a ich fizyczne właściwości nie powodują nadmiernych problemów przy wykorzystaniu do zasilania nowoczesnych silników spalinowych. Tworzenie mieszanin paliw, oparte na gruntownych badaniach naukowych, takich, które charakteryzować będą się niższą emisją związków szkodliwych, przy zastosowaniu zaawansowanych technologicznie silników, stworzy szereg korzyści ekologicznych.

Rozwój konstrukcji i technologii wytwarzania reaktorów katalitycznych nadąza za wprowadzaniem coraz niższych limitów emisji w krajach Unii Europejskiej i na innych rynkach. Prace rozwojowe w tej dziedzinie są cały czas prowadzone a ich wyniki są obiecujące. Pojawił się ogromny potencjał w wykorzystaniu wspólnego efektu zastosowania



problems for modern engines. Blending strategies, informed by thorough scientific research, will produce blends with improved emissions performance, and which complement advanced engine technologies to produce an array of synergistic ecological benefits.

Advances in catalyst technology seem well placed to meet the ever-lower standards planned for the EU and other markets. Research into this area is ongoing, but the results – and the implications – are promising. There appears to be a great potential for synergy between advanced fuels and lubricants and the most recent developments in catalyst technology.

The automotive industry faces a huge challenge in producing cars which meet the various legislative requirements and are still safe, reliable and attractive to consumers in multiple markets. The importance of detailed, progressive research and development programmes covering the areas described above has clearly never been as vital as it is now.

zaawansowanych technologicznie paliw, olejów silnikowych i najnowszych rozwiązań w technice katalizacyjnego oczyszczania spalin.

Przemysł motoryzacyjny spotyka się z coraz większymi wyzwaniami podczas produkcji samochodów, chcąc sprostać przepisom prawnym, przy zachowaniu bezpieczeństwa użytkownika pojazdu, niezawodności i atrakcyjności dla konsumentów na wielu rynkach. Docenienie roli rozwojowych programów badawczych i prowadzonych szczegółowych badań dotyczących powyżej przedstawionych aspektów nigdy dotąd nie było tak istotne.

*Paper reviewed/Artykuł recenzowany*

### Abbreviations/Oznaczenia i skróty

B100, B7, etc.	100% biofuel, 7% biofuel blend, etc./100% biopaliwa, 7% biopaliwa, itd.
BSFC	brake-specific fuel consumption/jednostkowe zużycie paliwa
CI	compression ignition/ZS
CNG	compressed natural gas/sprężony gaz ziemny
COV	coefficient of variance/współczynnik zmienności (odchylenie standardowe)
DOC	diesel oxidation catalyst/katalizator utleniający w silniku ZS
DPF	diesel particulate filter/filtr cząstek stałych
EGR	exhaust gas recirculation/recyrkulacja spalin
EPA	Environmental Protection Agency/Agencja Ochrony Środowiska USA
ETBE	ethyl terta-butyl ether/eter etylo-tetra-butylowy
EU	European Union/Unia Europejska
FAEE	fatty-acid ethyl ester/estry etylowe kwasów tłuszczowych
FAME	fatty-acid methyl ester/estry metylowe kwasów tłuszczowych
GDI	Gasoline Direct Injection/wtrysk bezpośredni benzyny
GTL	gas-to-liquid/paliwo wytworzone z gazu ziemnego
HC	hydrocarbons/węglowodory
HCCI	homogenous charge compression ignition/silnik spalania mieszanki jednorodnej (ZS)
HD	heavy duty/pojazdy ciężarowe
LD	light duty/pojazdy lekkie
LHV	lower heating value/wartość opałowa

LNT	lean NO <sub>x</sub> trap/katalizator absorbujący NO <sub>x</sub>
LPG	liquefied petroleum gas/propan-butan
m	mass/masa
MFB50	50% mass fraction burnt/50% masy spalanej
MON	motor octane number/liczba oktanowa motorowa
NEDC	New European Driving Cycle/Nowy Europejski Cykl Jezdny
NO <sub>x</sub>	oxides of nitrogen/tlenki azotu
PAH	polycyclic aromatic compounds/związki aromatyczne
PLOT	porous layer open-tabular/otwarta rurowa warstwa porowata
PM	particulate matter/cząstki stałe
PN	particle number/liczba cząstek
ppb	parts per billion/jednostek na miliard
ppm	parts per million/jednostek na milion
RME	rapeseed methyl ester/estry metylowe oleju rzepakowego
RON	research octane number/liczba oktanowa badawcza
SME	soybean methyl ester/ester metylowy oleju sojowego
SAPs	sulphated ash and phosphorous/pył zasiarzony i fosforawy
SCR	selective catalytic reduction/selektywny katalizator redukujący NO <sub>x</sub>
SI	spark ignition/ZI
TBN	total base number/liczba zasadowa
TWC	three-way catalyst/reaktor trójfunkcyjny
v	volume/objętość
w	weight/waga/masa

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](mailto:piotr.bielaczyc@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.*

