

PTNSS-2007-SS2-209

Kierunki rozwoju współczesnych źródeł napędu w świetle dyskusji panelowej na II Międzynarodowym Kongresie PTNSS

Powertrain development from the perspective of panel discussions at the second International PTNSS Congress

Słowa kluczowe: *silniki spalinowe, tendencje konstrukcyjne i badawcze, paliwa alternatywne*

Key words: *combustion engines, design and research trends, alternative fuels*

W dniach 20-23 maja 2007 roku odbył się w Krakowie Międzynarodowy Kongres Silników Spalinowych, w którym wzięło udział prawie 280 uczestników z Polski i zagranicy. Spotkanie tak wielu wybitnych specjalistów zajmujących się konstrukcją, badaniami i eksploatacją silników spalinowych stało się okazją do szerokiej wymiany wiedzy i doświadczeń pomiędzy różnymi środowiskami naukowymi i inżynierskimi polskimi i zagranicznymi.

Obrady Kongresu odbywały się w 4 sesjach plenarnych oraz wielu sesjach technicznych. Odbyła się również dyskusja panelowa, która pozwoliła na dokonanie przeglądu występujących światowych tendencji w zakresie konstrukcji i badań silników spalinowych, stosowanych paliw i ich przyszłości oraz przepisów dotyczących toksyczności spalin silnikowych i możliwości ich spełnienia.

Dyskusję panelową poprowadził prof. dr inż. Mirosław Wyszyński, profesor na Uniwersytecie Technicznym w Birmingham w Anglii. Prof. Wyszyński, absolwent Politechniki Warszawskiej, zajmuje się badaniami silników spalinowych i napędów, szczególnie w aspekcie zastosowania paliw alternatywnych i spełnienia aktualnych i przyszłych norm emisji związków toksycznych.

Do dyskusji i przedstawienia swoich ocen na temat przyszłości silników spalinowych w kontekście przyszłościowych paliw zaproszeni zostali prominentni goście Kongresu reprezentujący ważne ośrodki naukowe i badawcze w kraju i zagranicą. Byli to (w kolejności występowania):



Prof. Piotr Wolański – Politechnika Warszawska, Instytut Techniki Ciepłej, Polska/*Heat Engineering Institute, Warsaw University of Technology, Poland*,



Dipl.-Ing. Herman Ecker – Instytut Naukowo-Badawczy FEV w Aachen, Niemcy/*Research and Development Institute, Aachen, Germany*,



Mgr inż. Ulf Lundqvist – Instytut Naukowo-Badawczy AVL, Oddział w Szwecji/*AVL Research and Development Institute, Swedish Department*,



Dr Richard J Pearson – Lotus Engineering, Anglia/*Lotus Engineering, England*,



Dr Jonathan Hartland – Jaguar Land Rover, Anglia/*Jaguar Land Rover, England*,



Dr Krzysztof Biernat – Instytut Paliw i Energii Odnawialnej w Krakowie, Polska/*Fuel and Renewable Energy Institute, Cracow, Poland*,



Prof. Jan Czerwinski – Uniwersytet Nauk Stosowanych w Brnie, Szwajcaria/*University of Applied Sciences, Berne, Switzerland*,



Prof. Mirosław Wyszyński – Uniwersytet Techniczny w Birmingham, Anglia/*University of Birmingham, England*,

This year's International Combustion Engines Congress took place in Cracow, Poland, between 20th and 23rd May. It was attended by almost 280 participants from Poland and other countries. The meeting of acknowledged and recognized specialists in combustion engine design, research and operation gave a chance to exchange ideas and experience among various scientific or engineering research groups both in Poland and abroad.

The Congress sessions included four plenary meetings and a number of technical gatherings. In addition, there was also a panel discussion which highlighted the current trends of combustion engines design and research. Furthermore, it concerned fuels applied now and in future as well as the regulations of exhaust gas emission and the possibility of meeting the emission limits.

The panel discussion was conducted by Mr. Mirosław Wyszyński, Prof., PhD Eng., from the University of Birmingham, England. As a graduate of Warsaw University of Technology, Mr. Wyszyński deals with combustion engines and Powertrain in the aspect of alternative fuels application and with the current and future exhaust gas emission regulations and the possibility of meeting these limitations.

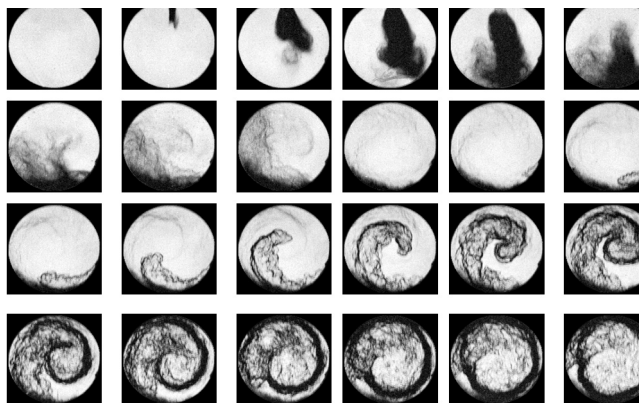
Prominent guests of the Congress were invited to share with their opinion on the future engines for future fuels. They represented main research and development centres in Poland and abroad. They appeared as follows:

Przedstawione głosy uczestników miały formę prezentacji komputerowych. Poniżej przedstawiamy wybrane obrazy z krótkim omówieniem pochodzącym od redakcji.

Prof. Piotr Wolański swój głos w dyskusji poświęcił aktualnym problemom spalania w silnikach spalania wewnętrznego wskazując na trzy podstawowe wymagania dotyczące sprawności przetwarzania energii, zmniejszenia emisji związków toksycznych i zmniejszenia emisji dwutlenku węgla jako gazu cieplarnianego. Spełnienie oczekiwań w tym zakresie wymagać będzie podejmowania działań dla zastosowania nowoczesnych paliw silnikowych i czynnego sterowania procesem spalania. Wśród paliw o wzrastającym znaczeniu w rozwoju silników Autor wymienił: metan (CNG), gaz upłynniony (LPG), biopaliwa oraz wodór.

W odniesieniu do sterowania spalaniem prof. Wolański stwierdził, że jest ono współcześnie możliwe tylko w ograniczonym zakresie. Można obecnie sterować procesami tworzenia mieszanki, czasem zapłonu oraz procesem wymiany ładunku poprzez sterowanie fazami i skokiem zaworów. Ograniczenia w możliwościach pełnego sterowania spalaniem powoduje niedostatecznie wysoką sprawność silników ze względu na niezupełne i niecałkowite spalanie, nierównoważony proces wywiązywania ciepła i emisję związków toksycznych.

Propozycje czynnego sterowania spalaniem w silnikach zostały przedstawione w publikacji: Wolanski P., Oppenheim A.K.: *Controlled Combustion Engines*, SAE Paper 1999-01-0324. Omawiano w niej możliwości wykorzystania bezpośredniego wtrysku paliwa (benzyny), zastosowania wtrysku akumulatorowego typu common rail oraz ograniczonego sterowania fazami rozrządu. Wśród zalet zastosowania proponowanych rozwiązań wymieniono możliwość prowadzenia ciągłej kontroli procesu tworzenia mieszanki. Do realizacji takiego zadania konieczne jest zastosowanie szybkich układów pomiarowych (przetworniki ciśnienia, tomografia silnikowa) i odpowiednich urządzeń wykonawczych.



Rys. 2. Przykład obserwacji procesów tworzenia mieszanki zapłonu i rozprzestrzeniania się płomienia w cylindrze z bezpośrednim wtryskiem

Fig. 2. Observations of mixture formation and flame propagation in the combustion chamber DI engine

The afore-mentioned speakers expressed their opinions in the form of computer-based presentations. Below, some extracts form those presentations with the editorial comments are presented.

Prof. Piotr Wolański addressed some current problems with internal combustion engines. Mr. Wolański determined three basic requirements concerning energy transformation efficiency, reduction of emissions, especially of CO₂ regarded as a greenhouse gas. In order to live up to expectations in these aspects it will be necessary to apply modern fuels and to control combustion actively. According to the Author, the fuels of rising importance for engine development include: methane (CNG), liquid gas (LPG), the so-called bio fuels, and hydrogen.

With regard to combustion control, prof. Wolański concludes that it is possible only to some extent. At present, mixture composition, ignition timing and valves opening



Rys. 1. Stanowisko do badań optycznych strugi wtryskiwanego paliwa oraz przykład zarejestrowanego obrazu

Fig. 1. The test stand for optical tests of injected fuel spray and a recorded exemplary picture

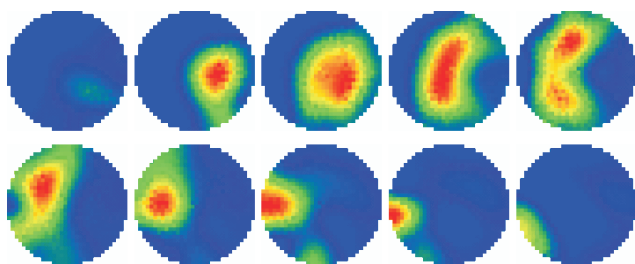
limited control can be modified and determined. The limitations of full combustion control lower, still unsatisfactory, engine efficiency due to either incomplete or partial

burning; moreover, due to not uniform heat release and emission of pollutants.

The concept of active combustion control was described by Wolański and Oppenheim in paper "Controlled Combustion Engines" presented at SAE 1999-01-0324. The issues discussed in the paper included gasoline direct injection, common rail, valves opening limited control. One of the advantages of the proposed concept is the possibility of continuous control over mixture composition, which requires fast measuring systems (pressure indicator, engine tomography) as well as appropriate devices.

Research on combustion control involves special diagnostic facilities. The paper presents a test bed for optical tests on fuel spraying, its penetration and flame formation, Fig. 1. Such a test bed allows investigating fuel injection mechanisms (Fig. 2, row 1), fuel spraying, fuel spray penetration, and finally, ignition occurrence (Fig. 2, row 2), together with flame propagation and mass transfer inside the combustion chamber (Fig. 2, rows 3 and 4). Observations enriched with a flame radiation analysis allow determining temperature distribution in the combustion chamber in particular phases of combustion (Fig. 3).

W pracach nad sterowaniem spalania niezbędne jest odpowiednie wyposażenie diagnostyczne; jako przykład przedstawione zostało stanowisko do optycznych badań rozpylenia wtryskiwanej strugi, jej rozprzestrzeniania się oraz powstawania płomienia, rys. 1. Stanowisko takie umożliwia prowadzenie badań nad mechanizmami występującymi w trakcie wtrysku paliwa (rys. 2, rząd 1), jego rozpylenia i rozprzestrzeniania w przestrzeni spalania oraz powstawaniem zapłonu (rys. 2, rząd 2), a następnie rozwojem frontu płomienia i jego przemieszczania się w komorze spalania (rys. 2, rząd 3 i 4). Obserwacje takie, uzupełnione analizą promieniowania płomienia, pozwalają na określenie rozkładu temperatury w przestrzeni spalania w poszczególnych fazach obserwowanych procesów (rys. 3).



Rys. 3. Przykład analizy tomograficznej rozkładu temperatury w cylindrze silnika z wtryskiem bezpośrednim

Fig. 3. Tomographic analysis of the temperature distribution in the cylinder with a direct injection

Prowadzone współcześnie badania pozwoliły już na wyjaśnienie wielu mechanizmów i zjawisk towarzyszących procesowi spalania; ich kontynuacja powinna doprowadzić do opanowania możliwości pełnego sterowania przebiegiem procesów tworzenia mieszanki i spalania, czyli do opracowania systemu aktywnego sterowania spalaniem.

O możliwościach zmniejszenia emisji związków toksycznych i dwutlenku węgla przez silniki spalinowe mówił inżynier Herman Ecker z Instytutu Naukowo-Badawczego FEV w Aachen (Niemcy). Stwierdził m.in., że problemy dotyczące wspomnianej emisji stanowią współcześnie główne wyzwanie konstrukcyjne i badawcze. Sprostanie jemu wymaga zastosowania podejścia systemowego, uwzględniającego cały system napędowy od paliwa poprzez silnik i układ napędowy aż do całego pojazdu.

W odniesieniu do silników z zapłonem iskrowym inż. Eckert stwierdził, że można w nich spełnić bardzo ostre wymagania dotyczące emisji związków toksycznych. Ich rozwój jest silnie związany z zastosowaniem turbodoładowania, tzw. *downsizingu*, rozbudowanych układów elektronicznego sterowania pracą oraz systemów spalania pozwalających na spalanie mieszanki ubogiej.

Dla silników z zapłonem samoczynnym przewiduje się upowszechnienie tzw. pułapki cząstek stałych i układów redukujących emisję tlenków azotu. Przewidywane jest także stosowanie *downsizingu* dla obniżenia emisji dwutlenku węgla.

Jako rozwiązania alternatywne dla współczesnych źródeł napędu przewiduje się:

The latest research provided explanations of many combustion mechanisms and accompanying processes. Further continuation of the research should in future provide a full control over processes responsible for mixture composition and fuel burning; in other words, it should create an active combustion control system.

The possibilities of reducing pollutants and CO₂ emitted by combustion engines were discussed by Herman Ecker from Research and Development Institute in Aachen, Germany. Mr. Ecker concludes that problems with emissions are the main challenge for designers and researchers. In order to achieve the objectives, it is essential to apply a broad approach to the emissions that would encompass the whole Powertrain including the fuel, engine, and the entire vehicle.

With regard to spark ignition engines, Mr. Eckert concludes that it is possible to meet most stringent regulations for pollutant emissions in these engines. Their development is tightly connected with turbo charging, the so-called downsizing; furthermore, with the complex electronic control system, and finally, with systems that allow lean combustion.

As far as the CI engines are concerned, it is predicted that both particulate trap and NO_x aftertreatment become standard. It is also likely that downsizing will be applied so as to reduce CO₂ emissions.

An alternative fuelling system in modern Powertrains will be as follows:

- fuelling with compressed natural gas (CNG) will become more common;
- biofuels, blends, or synthetic fuels, which will gain rapid share due to the greenhouse effect;
- hybrids in which the degree of hybridization will be correlated with driving conditions and the cost-benefit calculation.

It is widely thought that fuel cell applicability is still the matter of future.

Currently, the concept of downsizing has been developed. The aim of downsizing is to minimize the size of the Powertrain unit with sustaining the motor operation characteristics at the same level. Engine modifications that allow improving engine operation rates lead to fuel consumption reduction by 25%, Fig. 4.

Not only is fuel consumption reduction expected but CO₂ emission, too. Fig. 5 shows the potential capabilities of CO₂ reduction accordingly to apply of particular solutions. It seems possible to diminish the emissions in spark ignition engines by a dozen of percents by means of the fully variable valve train that consists of multi point injection, direct injection and that requires lean fuel; furthermore, it can be reduced by means of downsizing and homogenous lean fuel burning.

Ulf Lundqvist, a Swedish AVL engineer, brought attention to the fact that CO₂ emission reduction is correlated with a significant engine efficiency increase and with total pollutants emission reduction. At present the situation is unsatisfactory owing to the fact that most cars manufactured nowadays considerably exceed CO₂ emission norm 130

- zwiększenie udziału zasilania sprężonym gazem ziemnym (CNG),
- zastosowanie biopaliw i ich mieszanin oraz paliw syntetycznych ze względu na problem cieplarniany,
- zastosowanie napędów hybrydowych, których stopień hybrydyzacji zostanie dostosowany do warunków użytkowania oraz rachunku ekonomicznego.

Uważa się przy tym, że praktyczne zastosowanie ogniwo paliwowych jest jeszcze odległe.

Obecnie silnie jest rozwijana koncepcja *downsizingu*, czyli zmniejszania wymiarów jednostki napędowej przy zachowaniu jej właściwości napędowych. Modyfikacje konstrukcji silnika pozwalające na zwiększenie wskaźników jego wysilenia prowadzą do zmniejszenia przebiegowego zużycia paliwa, nawet o ok. 25%, rys. 4.

Równoległe z walką o obniżenie zużycia paliwa oczekuje się zmniejszenia emisji CO₂. Na rysunku 5 pokazano potencjalne możliwości tego obniżenia w zależności od zastosowanych rozwiązań konstrukcyjnych. Wychodząc od obecnego stanu rozwojowego silników o zapłonie iskrowych wyposażonych we wtrysk wielopunktowy (*Multi Point Injection*) poprzez zastosowanie wtrysku bezpośredniego i pracy na ubogich mieszankach poprzez w pełni zmienną geometrię rozrządu, *downsizing* i spalanie mieszanki ubogiej jednorodnej możliwe wydaje się obniżenie wspomnianej emisji o kilkanaście procent.

Inż. Ulf Lundqvist ze szwedzkiego oddziału Instytutu AVL (MTC) zwrócił uwagę, że obniżanie emisji CO₂ jest równoznaczne z koniecznością znacznego zwiększenia sprawności silników oraz obniżenia ich całkowitej emisji związków toksycznych. Sytuacja wyjściowa nie jest szczególnie korzystna, gdyż większość obecnie produkowanych samochodów dość znacznie przekracza normy emisji CO₂ dla flot poszczególnych marek określonych dla 2012 roku na 130 g/km. Do marek o najkorzystniejszym wskaźniku tej emisji należą Fiat i Citroën, zaś najgorsze jego wartości przypisuje się samochodom marek uznawanych tradycyjnie za luksusowe.

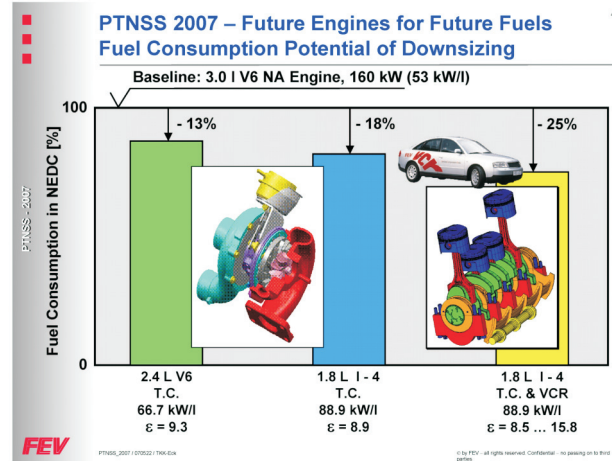
W Europie występuje szczególnie silna tendencja do sprostania zapowiadany normom. Wśród głównych metod osiągnięcia tego celu wymienia się:

- zmienne zawirowanie ładunku,
- zmienny napęd rozrządu,
- bezpośredni wtrysk benzyny i uwarstwienie mieszanki,
- sterowany samozapłon,
- wyłączanie cylindrów,
- doładowanie mechaniczne i turbodoładowanie.

Głównymi efektami podejmowanych działań konstrukcyjnych powinny być:

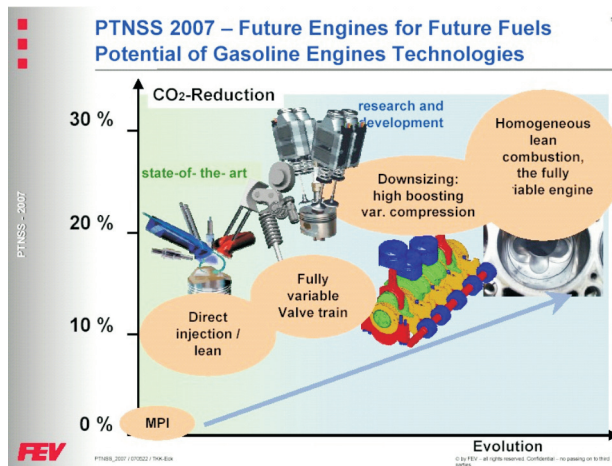
- zmniejszenie strat tarcia,
- poprawienie zarządzania przepływem energii w silniku i układzie napędowym,
- odzyskiwanie energii,
- procedura Start/Stop – czasowego wyłączania silnika na postoju,
- hybrydyzacja napędów,
- zastosowanie paliw alternatywnych.

g/km for particular brand fleets that are established for year 2012. Fiat and Citroën are two of those vehicle manufacturers that have the most beneficial and eco-friendly CO₂ emission rate, whereas vehicles traditionally associated with luxury have the worst rates.



Rys. 4. Zmniejszenie zużycia paliwa przez zastosowanie *downsizingu*

Fig. 4. Fuel consumption reduction by downsizing



Rys. 5. Potencjał zmniejszenia emisji dwutlenku węgla przez zastosowanie różnych rozwiązań konstrukcyjnych

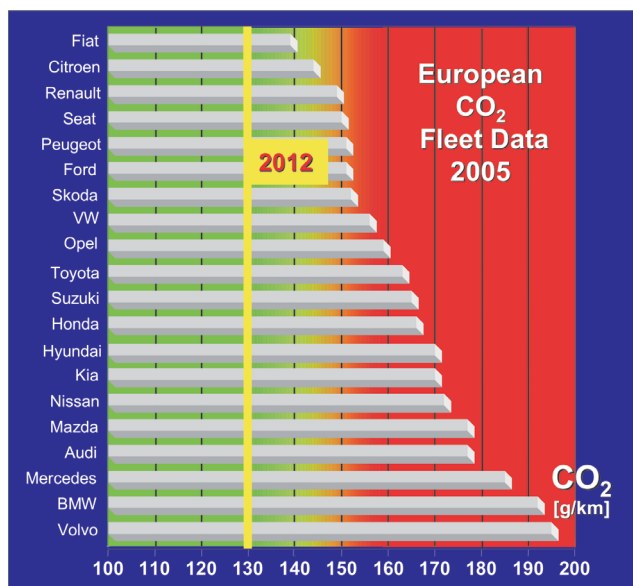
Fig. 5. The possibility of CO₂ emissions reduction by various modifications in design

Europe has a strong proclivity to meet the forthcoming emission norms. The future low CO₂ emission rates can be obtained by means of:

- variable charge motion,
- variable valve actuation,
- gasoline direct injection and mixture stratification,
- controlled self-ignition,
- cylinder deactivation,
- super and turbo charging.

The technologies that help reduce CO₂ emission rate are as follows:

- reduced friction losses,
- improved energy management,
- energy recovery,



Rys. 6. Flotowa emisja CO₂ dla pojazdów marek typowych na rynku europejskim w odniesieniu do poziomu przewidywanego normami na 2012 rok

Fig. 6. Fleet CO₂ emissions from common European vehicles with respect to the 2012 emission regulations

Przewidywane jest różne natężenie tych zmian i tendencji rozwojowych w zależności od kraju i lat, rys. 7. Proporcje upowszechnienia różnych napędów w różnych rejonach świata będą bardzo zróżnicowane. Jak widać z rysunku, w Azji i w Krajach Trzeciego Świata przewidywany udział silników z zasilaniem gazowym jest coraz większy; w Ameryce Płd. dominujące znaczenie ma i będzie miało paliwo alkoholowe. W krajach europejskich przewiduje się zwiększanie udziału silników ZS przy jednoczesnym marginalnym znaczeniu paliw alternatywnych. Uwzględniając jednak znane zasoby paliwa gazowego, prace nad rozwojem konstrukcji takich silników są intensywnie prowadzone.

W Instytucie AVL prowadzone są prace nad opracowaniem silnika z bezpośrednim wtryskiem gazu do cylindra. Jak widać z rysunku 8, koncepcja takiego silnika z zapłonem iskrowym jest pokrewna rozwiązaniom systemów GDI, FSI i podobnych.

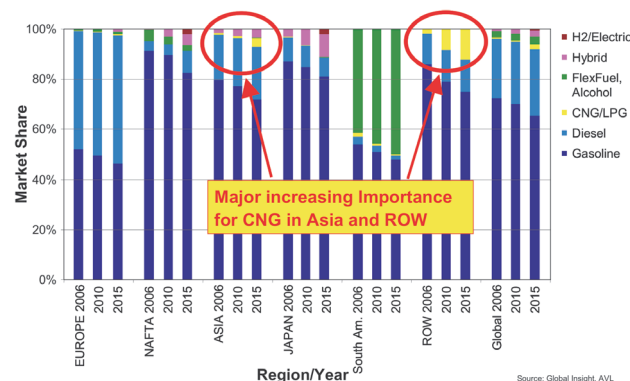
Opracowany silnik doświadczalny tego typu ma następujące cechy:

- pojemność skokową cylindra 450 cm³,
- stopień sprężania 13,
- wtryskiwacz konstrukcji AVL typu DMI (*Direct Mixture Injection*); opcjonalnie – piezoelektryczny,
- system zasilania gazowego z ciśnieniem roboczym 12 bar, standardowym regulatorem ciśnienia i typowymi elementami składowymi,
- system spalania umożliwia pracę z mieszanką homogeniczną oraz uwarstwowaną mieszanką ubogą ($\lambda > 1$).

Zastosowany w silniku badawczym układ zasilania wyposażony jest we wtryskiwacz, którego główne cechy konstrukcyjne widoczne są na rysunku 9.

- start/stop procedure – turning off the engine while waiting for motion continuation,
- hybridization,
- alternative fuels.

Intensyfikacja design modifications and trends in development varies depending on the country. Powertrain technologies will spread at different pace in different regions of the world. As the Fig. 7 shows, there is an increasing number of cars with CNG engines in Asia and Third World countries. By contrast, flexfuel alcohol will become dominant



Rys. 7. Procentowy udział poszczególnych napędów w rynku w poszczególnych krajach i latach

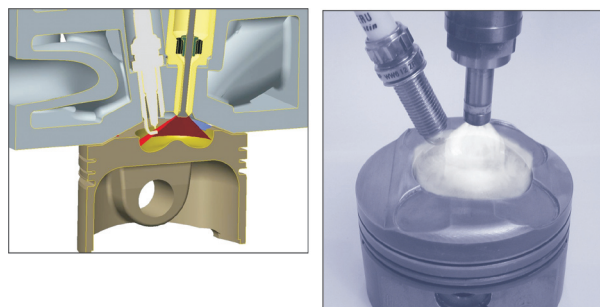
Fig. 7. Powertrain market share in particular countries at different times

in South America. It is expected that CI engines will increase their share with simultaneous marginalization of alternative fuels. However, taking extensive methane resources into account the research on methane fuelled engines has been recently accelerated and intensified.

The AVL Institute has been carrying out some research that aims at designing an engine with direct injection of gas into the cylinder. As fig. 8 shows, this concept is similar to GDI or FSI systems and others.

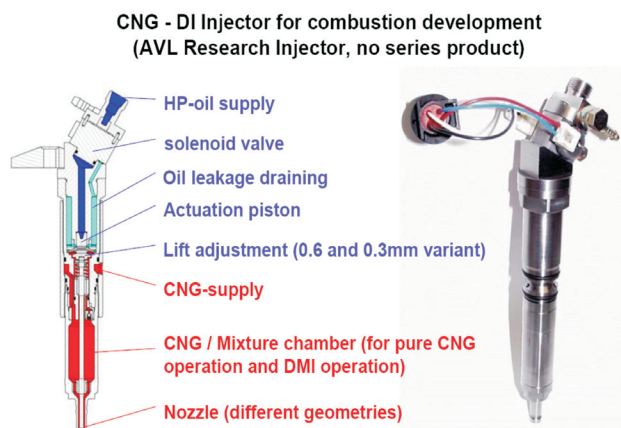
The experimental engine designed by AVL Institute, has the following parameters:

- engine capacity 450 cm³/cylinder,
- compression ratio 13:1,
- AVL proprietary DMI-Injector, optionally, piezoinjector,
- CNG System Feed Pressure at 12 bar, standard CNG pressure regulator with typical components,



Rys. 8. Podstawowe elementy systemu spalania silnika z bezpośrednim wtryskiem gazu

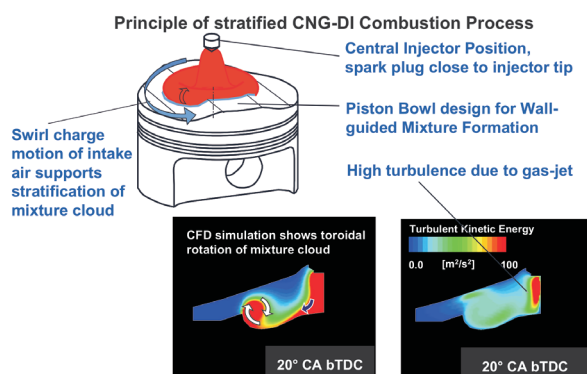
Fig. 8. The basic parts of the combustion system with directed injection of gas



Rys. 9. Przekrój i widok wtryskiwacza do zasilania gazem CNG

Fig. 9. The cross-section of the CNG injector

Poprawna konstrukcja systemu spalania wymaga właściwego skojarzenia charakterystyki podawania paliwa z ruchem powietrza wewnątrz cylindra i komory spalania. W omawianym przypadku szczególne utrudnienie stwarza konieczność pracy na uwarstwionym ładunku i zapewnienie pożądanego składu mieszanki w obszarze świecy zapłonowej we właściwej chwili. Spełnienie tych wymagań zmusza do prowadzenia szczegółowych badań symulacyjnych, rysunek 10 i 11.



Rys. 10. Zasada działania systemu spalania z bezpośrednim wtryskiem gazu

Fig. 10. Principle of stratified CNG-DI combustion process

Przeprowadzone w firmie AVL badania wskaźników pracy silnika z bezpośrednim wtryskiem gazu pozwoliły określić jego potencjalne możliwości. Pomiary przeprowadzone przy prędkości obrotowej 2000 obr/min i średnim ciśnieniu użytecznym 3 bar wykazały, że w porównaniu do silnika ZI pracującego na mieszance jednorodnej, silnik z bezpośrednim wtryskiem gazu pracujący na mieszance jednorodnej nie umożliwia wprowadzić istotnej poprawy jego sprawności, lecz pozwala na wyraźną redukcję emisji dwutlenku węgla. Silnik gazowy pracujący na mieszance uwarstwionej pozwala nie tylko na wyraźną redukcję zużycia paliwa (ok. 25%), lecz również na znaczne obniżenie emisji CO_2 (ok. 40%), rys. 12.

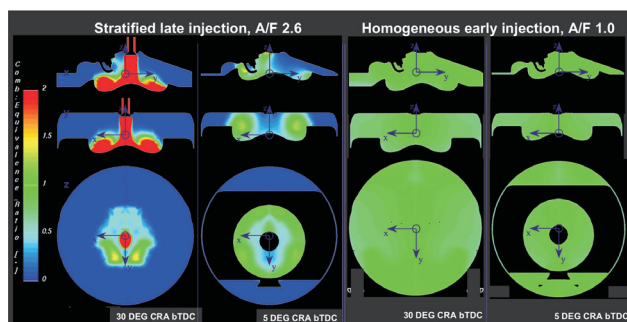
Wprowadzenie przy zasilaniu gazem występuje zmniejszenie wartości współczynnika napelnienia dla rozwiązań z wtry-

- Combustion system adjusted either to homogenous ($\lambda = 1$) or to stratified lean ($\lambda > 1$) fuel mixture.

The fuelling system used in the experimental engine is equipped with the injector with special design features shown in Fig. 9.

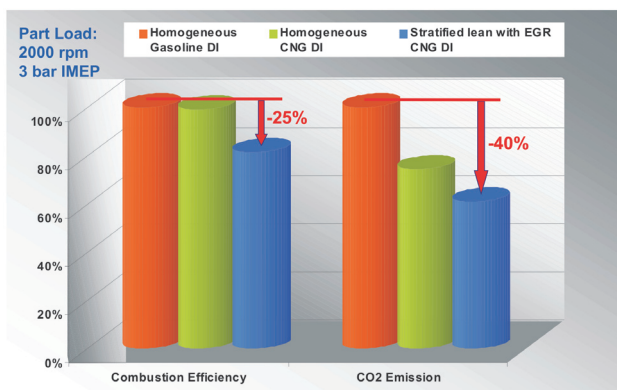
The correct combustion system requires the right correlation of fuel supply with air motion in the cylinder and combustion chamber. In this case, the stratified charge rises the difficulty in construction; similarly, the ultimate composition of the fuel mixture in spark plug's area at a particular time is also difficult to achieve. Meeting these requirements compels to conduct detailed simulation tests that are presented in Fig. 10 and 11.

AVL tested the performance of CNG-DI combustion system to check its potential capacities at engine speed 2000 rpm and average pressure 3 bar. In comparison to a homogeneous stoichiometric combustion, the experimental CNG-DI engine allows a significant CO_2 emission reduction; it does not show any considerable increase in efficiency though. Fig. 12 shows that the CNG-DI combustion system has 25% better efficiency; furthermore it significantly lowers CO_2 emission (by about 40 %) when compared with homogeneous stoichiometric combustion due to a different C/H ratio.



Rys. 11. Symulacja typu CFD (Computed Fluid Dynamic) tworzenie mieszanki w silniku z wtryskiem gazu przy pracy na mieszance uwarstwionej (rys. lewy) i mieszance jednorodnej (rys. prawy)

Fig. 11. CFD simulation; mixture formation in the engine with stratified gas injection (on the left) and homogeneous gas injection (on the right)

Rys. 12. Poprawa zużycia paliwa i emisji CO_2 w silniku zasilanym CNG w porównaniu do silnika konwencjonalnegoFig. 12. Fuel consumption and CO_2 emissions reduction in CNG Direct Injection in comparison with stoichiometric homogeneous charge engine

skiem gazu do przewodu dolotowego, jednak zastosowanie bezpośredniego wtrysku do cylindra po zamknięciu zaworu dolotowego problem ten eliminuje, a napełnienie cylindra wzrasta o ok. 12%.

Sprężony gaz ziemny CNG wykazuje większą od benzyny odporność na spalanie stukowe; umożliwia to zwiększenie stopnia sprężania do ok. 13, co wywołuje wzrost sprawności silnika o ok. 13%.

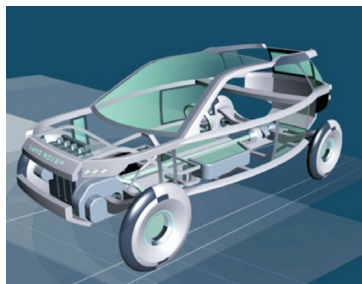
Wyniki te potwierdzają celowość prowadzenia dalszych prac rozwojowych dla silnika ZI z bezpośrednim wtryskiem gazu. CNG okazuje się bardzo atrakcyjnym paliwem dla silników spalinowych, zarówno ze względu na mniejszą emisję CO₂, lecz także ze względu na niezależność się od zasobów ropy naftowej. W okresie przejściowym przewiduje się znaczne upowszechnienie się silników z zasilaniem dwupaliwowym, benzyną i CNG. W połączeniu z turbodoładowaniem uzyskuje się znaczną poprawę napełnienia cylindra, co pozwala na zwiększenie wskaźników wysilenia silnika i umożliwia stosowanie *downsizingu*.

Dr Jonathan Hartland omówił ważniejsze kierunki badań w firmie Jaguar-Land Rover. Stwierdził, że w perspektywie krótkoterminowej najbardziej realnym rozwiązaniem problemów emisji CO₂ i oszczędności źródeł energii wydaje się napęd hybrydowy. Przedstawił projekt koncepcyjny takiego pojazdu, rys. 13. Zawiera on niekonwencjonalne rozwiązania:

- zintegrowany napęd elektryczny tylnej osi;
- zintegrowany system rozrusznik-prądnica (ISG – *Integrated Starter-Generator*),
- inowacyjny wał napędowy z bezszwowym łączeniem,
- terenowy tryb napędu elektrycznego,
- możliwość zasilania silnika spalinowego biopaliwami,
- inteligentny program sterowania obciążeniem cieplnym (ITP – *Intelligent Thermal Programme*),
- układ elektrycznego wspomagania kierownicy (EPAS – *Electric Power Assisted Steering*),
- inteligentny system zarządzania układami elektrycznymi (IMES – *Intelligent Management of Electrical Systems*).

Zastosowanie biopaliw do silników o zapłonie samoczynnym wywołuje określone następstwa. Biopaliwa mają gorszą stabilność termooksydacyjną, a także gorsze właściwości niskotemperaturowe polegające m.in. na ich tężeniu, rys. 14. W przypadku niektórych biopaliw – w szczególności surowych olejów roślinnych, następuje intensywne tworzenie się osadów i nagaru oraz ich odkładanie na powierzchni komory spalania, zaworach i świecy żarowej. W wyniku przecieków paliwa do miski olejowej, następuje szybsza degradacja oleju smarnego pogarszająca właściwości smarne.

Wady klasycznych biopaliw wywołują zainteresowanie ich następną generacją. Paliwa takie są wytwarzane na przykład w procesie Fischera/Tropscha (GTL/BTL). Polega on na zgazowaniu biomasy dla uzyskania gazu syntezowego. Najbardziejie pożądanę węglowodory nasycone



Rys. 13. Koncepcja pojazdu Land E
Fig. 13. The concept of Land E vehicle

Although the volumetric efficiency in CNG-DI systems with manifold gas injection is reduced, it can be fully compensated by late direct injection (after intake closing), which results in mass growth in the cylinder by 12%.

Due to a high knock resistance of CNG, it is possible to use a CR of 13, which gives 13% higher efficiency in low end WOT compared to gasoline operation.

All these results confirm the necessity of doing research that aim at developing spark ignition engines with gas direct injection. CNG appears to be a highly attractive fuel for combustion engines owing to lower CO₂ emissions and less dependency on crude oil resources. Bi-fuel vehicles represent a short term solution before introducing CNG into the market on a bigger scale. CNG in combination with turbo charging achieves better volumetric efficiency; consequently, turbo charging gives a green light to downsizing and achieving higher fuel efficiency.

Dr Jonathan Hartland discussed the main directions in development at Jaguar-Land Rover corporation. Mr. Hartland concluded that hybrids would become a short-term solution to problems with CO₂ emissions and energy saving. He presented a conceptual project of such a vehicle that is shown in Fig. 13. It includes some unconventional technologies and solutions:

- Integrated electric rear axle drive,
- ISG Integrated Starter-Generator,
- Innovative Propshaft with Seamless Re-connect,
- Terrain Response e-Mode,
- Bio-diesel capability,
- ITP Intelligent Thermal Programme,
- EPAS Electric Power Assisted Steering,
- IMES Intelligent Management of Electrical Systems.

Bio fuels applied in CI engines cause certain consequences. These fuels have worse oxidation stability; in addition, bio fuel may gel at low temperatures, Fig. 14. In the case of some bio fuels, especially crude vegetable oils, both sedimentation and carbon deposit is very intense on the surface of the combustion chamber, valves and glow plug. As a result of fuel leakage into the oil bowl, lubricant oil degradation is faster and it loses its lubricating properties.

The drawbacks of classical bio fuels draw attention to the next generation of bio fuels. They are the outcomes of Fischer and Tropsch's reaction (GTL/BTL), for instance. The reaction involves partial oxida-



Rys. 14. Galaretowaty charakter biopaliwa w niskich temperaturach

Fig. 14. Biofuels and their jelly consistence at low temperatures

powstają według reakcji: $(2n + 1)H_2 + n CO \rightarrow C_n H_{(2n+2)} + n H_2O$ lub $(n + 1)H_2 + 2n CO \rightarrow C_n H_{(2n+2)} + n C_2O$. Przebieg reakcji syntezy reguluje się dobierając odpowiedni katalizator i warunków procesu.



Rys. 15. Stanowisko badawcze na uniwersytecie w Birmingham

Fig. 15. The test stand at University in Birmingham

Innym rozwiązaniem może być zastosowanie uodornionych tłuszczów roślinnych i zwierzęcych w postaci płynnej. Postępowanie takie wymaga jednak uruchomienia „rafinerii” biopaliwa.

Ważnym kierunkiem rozwoju napędów jest konstrukcja określana pojęciem *Controlled Homogeneous Auto-Ignition Supercharged Engine* (doładowany silnik ZS z mieszanką homogeniczną). Tego rodzaju silnik oznaczony symbolem AJV6 HCCI był poddany badaniom na uniwersytecie w Birmingham, rys. 15. Do najważniejszych efektów zastosowania systemu spalania typu HCCI²⁾ należą:

- wielkość obszaru pracy silnika, rys. 16,
- sterowanie przebiegiem spalania,
- płynne przejście pomiędzy trybami pracy silnika (HCCI i ZI),
- łatwość wykonania i prostota systemu.

W podsumowaniu dr Hartland zwrócił uwagę, że przyszłość rozwiązań układów napędowych i paliw nie zależy tylko od przemysłu motoryzacyjnego, lecz także od dostawców paliw, stosowanych dodatków, technologii, logistyki i polityki.

Dr Richard J. Pearson reprezentujący firmę Lotus Engineering omawiał zagadnienie zastosowania syntetycznego alkoholu do napędu środków transportu jako alternatywy dla paliwa wodorowego. Występuje kilka powodów poszukiwania alternatyw dla paliw konwencjonalnych:

- następuje wzrost populacji i globalnego spożycia energii,
- paliwa płynne pochodzą ze źródeł nieodnawialnych, które ulegają wyczerpaniu,
- występuje problem bezpieczeństwa energetycznego,
- obserwowane są zmiany klimatu.

O zużyciu paliw w transporcie można wnioskować na podstawie przewidywanego rozwoju transportu na świecie.

²⁾ HCCI – Homogenous Charge Compression Ignition, silnik ZS z ładunkiem jednorodnym.

tion of biomass in order to obtain a gas that is further converted into hydrocarbons. The most desired saturated hydrocarbons are formed in the following reactions: $(2n + 1)H_2 + nCO \rightarrow C_n H_{(2n+2)} + n H_2O$ or $(n + 1)H_2 + 2n CO \rightarrow C_n H_{(2n+2)} + n C_2O$. The course of reactions can be modified by changing a catalyst or conditions.

The next generation bio fuels may be also produced with the use of hydrotreated vegetable oil or animal fat, it requires establishing a biomass “refinery”, though.

An important Powertrain development from the environmental point of view is the controlled homogeneous auto-ignition supercharged engine. This type of engine, labelled AJV6 HCCI, was tested at university in Birmingham, Fig. 15. The main issues of combustion system HCCI²⁾ are as follows:

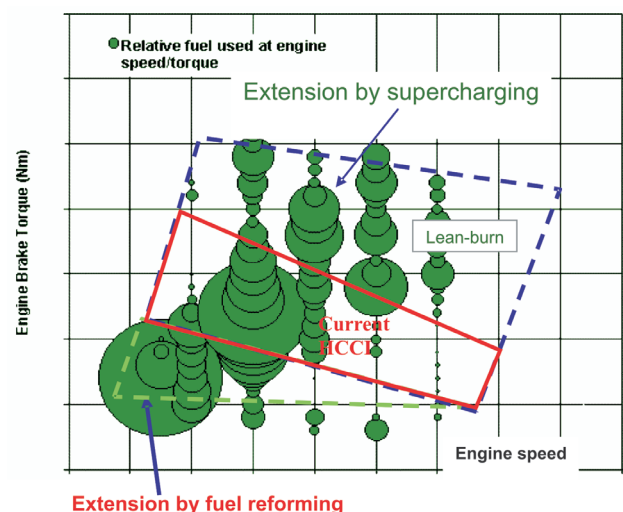
- enveloping size of HCCI operation, Fig. 16,
- control of combustion,
- driver transparent transitions (between HCCI and SI),
- NVH and robustness (brand values).

In conclusion, Dr. Hartland notices that the future Powertrain development depends not only on the automotive industry, but also on the fuel suppliers, fuel components and additives, technology, logistics, and finally, on politics.

Dr Richard J. Pearson, who represented Lotus Engineering company, discussed the possibility of fuelling means of transport with synthetic alcohol as an alternative for hydrogen. Dr Pearson points to a number of reasons that urge to search for some alternative fuels, for instance:

- population and energy consumption per capita are rising,
- fossil fuels are a finite resource – not renewable on a practical time-scale,
- energy security,
- climate change.

The fuel consumption can be estimated on the basis of the predicted world’s transport growth. The growth measured



Rys. 16. Zakres warunków pracy pokrywany przez tradycyjny system HCCI, powiększony przez zastosowanie doładowania i spalanie ubogich mieszanek (obszar dużych obciążeń) oraz przez zastosowanie paliwa reformowanego (obszar małych obciążeń)

Fig. 16. HCCI operation range covered by charging and lean fuel burning (heavy load area) and by reformed fuel (light load area)

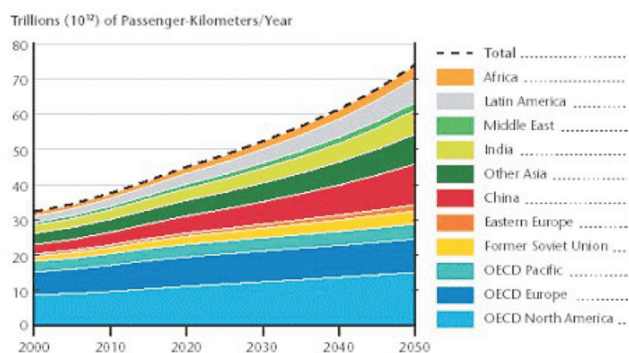
Tendencje przyrostu wskaźnika pasażerokilometrów w perspektywie ok 50 lat ilustruje rysunek 17. Wynikają z nich trzy podstawowe potrzeby:

- obniżenie zużycia energii (pożądane w każdej sytuacji),
- zmiany podstawowych paliw,
- każde z przyjmowanych rozwiązań musi spełniać wymagania dotyczące obniżenia emisji CO₂.

Osiągnięcie pożądanych wyników w zakresie oszczędności zużycia energii wymaga poprawy wskaźników operacyjnych silnika i technologii przeniesienia napędu, poprawy wskaźników pojazdu (zmniejszenie masy, zmniejszenie oporów toczenia/poruszania się), zmian w sposobie wykorzystania pojazdu (np. przez zastosowanie napędu adaptacyjnego).

Rozważając możliwości zastąpienia paliwa konwencjonalnego należy brać pod uwagę, że idealne źródło energii powinno:

- być łatwe do wytwarzania i pochodzić z bogatych zasobów,
- wykazywać dużą gęstość energii,
- umożliwiać składowanie, przetwarzanie oraz bezpieczne i tanie rozprowadzanie,
- być kompatybilne w różnorodnych przypadkach zastosowania.



Rys. 17. Przewidywany wzrost wartości wskaźnika pasażerokilometrów w poszczególnych regionach świata w ciągu najbliższych 50 lat

Fig. 17. The predicted growth of the passenger per kilometer rate in particular world's regions in 50 years' time

Wymagania te ze względu na właściwości fizyczne doskonale spełniają współczesne paliwa: benzyna i olej napędowy, ich użycie powoduje jednak zmiany klimatu. Potencjalnie duże zainteresowanie wywołuje możliwość wykorzystania wodoru, jednak związane są z tym pewne trudności:

- wodór musi być uzyskany ze związków uwodornionych, co wiąże się z emisją CO₂,
- upowszechnienie zasilania wodorowego wymaga ogromnych zmian infrastruktury transportowej (transport, składowanie, rozprowadzanie, przejściowo konieczna infrastruktura podwojona),
- magazynowanie wymaga wysokiego ciśnienia i niskiej temperatury 700 bar, -253°C; w tych warunkach wodór wykazuje jednak ok. 1/5 gęstości energetycznej paliw klasycznych,
- systemy magazynowania są kosztowne.

in passenger per kilometre in 50 years' time is shown in Fig. 17. On the grounds of Fig. 17 it can be concluded that there are three crucial needs:

- fuel consumption must be reduced (it is a desirable tendency regardless the fuel used),
- conventional fuels must be changed,
- any alternative basis for the future energy economy must address the CO₂ issue.

In order to reduce energy consumption at a satisfying level, the following factors must be improved: engine operation indicators, vehicle technology (low mass, low rolling resistance/drag), changes in vehicle usage patterns (for example, adaptive driving).

Considering the possibilities of replacing the conventional fuel it has to be taken into account that the ideal energy carrier should:

- be easy to manufacture from abundant resources,
- provide high energy density,
- be capable of being handled, stored, and distributed cheaply and safely,
- be compatible with a wide variety of applications.

Gasoline and diesel are excellent examples because of their physical properties; however, both fuels cause climatic changes. Hydrogen, despite a broad potential application, also causes the following difficulties in use:

- hydrogen needs to be extracted from hydrogenated compounds what causes CO₂ emission,
- change to gaseous fuels requires huge infrastructure changes (distribution, transportation, storage, dual infrastructure in transition),
- inconvenient energy storage medium: 700 bar or -253°C; there is about 1/5 energy density of gasoline at 700 bar,
- fuel storage systems are very expensive.

In order to apply alcohol as an alternative fuel, the following issues must be addressed and taken into consideration:

- alcohols are liquid fuels which provide high on-board energy density and have cheap fuel systems,
- can be distributed via existing infrastructure with some minor modifications,
- alcohols can be blended easily with gasoline: whereas there is no need for fuel system modifications up to 10% concentration by volume, modifications for higher concentrations are minimal,
- they have high octane indices – important for downsized engines; additionally, high knock resistances and flame speed enable better combustion efficiency, especially optimized spark-timing and higher compression ratios.

From the economical point of view alcohols are regarded as a long-term solution. They can be either obtained traditionally through fermentation or synthesized from hydrogen and carbon dioxide where hydrogen is produced via renewable sources.

Contrary to hydrogen, alcohol as a fuel has a lower climatic impact. Moreover, in bio-fuel form it offers significant well-to-wheel CO₂ benefits. But presently there is insufficient cultivated land area to satisfy both food and energy requirements; therefore, it is expected that the second generation bio-fuels are better.

Zastosowanie alkoholi jako paliw alternatywnych wiąże się z następującymi zagadnieniami:

- alkohole są paliwami ciekłymi, które mają dużą gęstość energetyczną, a systemy paliwowe są tanie,
- do ich dystrybucji można wykorzystać istniejącą obecnie infrastrukturę jedynie z niewielkimi modyfikacjami,
- alkohole mogą łatwo być mieszane z benzyną; wprowadzenie 10% alkoholu (objętościowo) nie wymaga modyfikacji systemu paliwowego, większy jego udział wymaga tylko nieznacznych modyfikacji,
- alkohole cechują się dużą odpornością przeciwstukową, co sprzyja stosowaniu *downsizingu*; dodatkowo, duża szybkość spalania prowadzi do zwiększenia sprawności cieplnej, większych możliwości optymalnego doboru czasu zapłonu i zwiększeniu stopnia sprężania.

Paliwa alkoholowe są uważane za ekonomicznie korzystną perspektywę długookresową. Mogą być przy tym wytwarzane tradycyjnie (fermentacja) lub syntezowane z wodoru i tlenku węgla (gdzie wodór uzyskiwany byłby ze źródeł odnawialnych).

Paliwo alkoholowe w stosunku do wodoru powoduje mniejsze oddziaływanie na klimat. Produkowane jako biopaliwo daje istotne korzyści pod względem zmniejszonej emisji CO₂. Jednak współcześnie nie dysponuje się odpowiednio wielką powierzchnią rolną dla zaspokojenia zarówno potrzeb żywnościowych ludzkiej populacji, jak i potrzeb energetycznych w tej postaci; oczekuje się lepszych wskaźników przy wykorzystaniu biopaliw II generacji.

Jako rozwiązanie przejściowe rozważana jest produkcja metanolu poprzez syntezę. Odbywa się to już na skalę przemysłową z wodoru i dwutlenku węgla. Alternatywnie, metanol (także DME³⁾ do silników ZS) może być otrzymywany z syntezy gazu ziemnego lub węgla. Do tego procesu wykorzystywane jest wytwarzanie H₂ w wyniku termicznego rozkładu metanu w procesie Carnol'a, którego efektem jest także łatwy do oddzielenia węgiel.

Dwutlenek węgla może być uzyskany ze spalin przemysłowych lub produkcji cementu, z metanu (razem z odzyskiwaniem H₂) lub z biosfery. Wodór można uzyskiwać w wyniku elektrolizy wody, wykorzystując energię słoneczną lub jądrową.

Proponowany proces otrzymywania alkoholi syntetycznych został schematycznie przedstawiony na rysunku 18.

Firma Lotus przewiduje, że do 2012 roku przepisy legislacyjne wymuszają stosowania silników benzynowych z możliwością pracy dwupaliwowej, także na etanolu. Stało by się to znaczącym impulsem do zwiększenia zainteresowania paliwami odnawialnymi. Jednocześnie, przewiduje się kontynuowanie prac nad II-gą generacją bioetanolu, którego produkcja przemysłowa planowana jest na 2015 rok.

For the time being, methanol synthesis is considered as a short-term solution. The alcohol has already been synthesized from CO₂ and H₂ on a mass scale. Besides, methanol (and DME for diesel engines) can be synthesized directly from natural gas resources or coal. 'Carnol' process generates H₂ from thermal decomposition of methane. In addition, it gives solid carbon that is easy to sequester and store.

CO₂ can be obtained from industrial fumes or cement production, from methane (also producing H₂) or the biosphere. H₂ can also be produced via the electrolysis of water with the use of either solar energy or nuclear power.

The proposed method of obtaining synthetic alcohols is shown in Fig. 18.

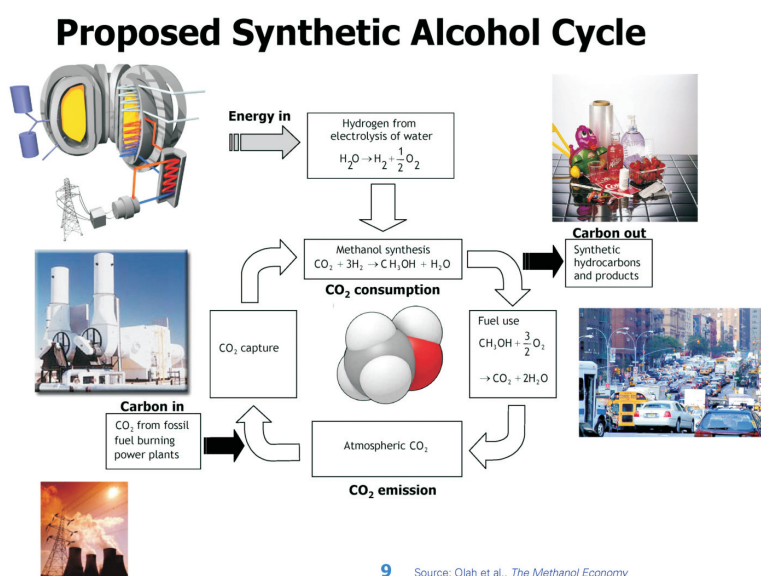
Lotus believes that by 2012 legislation requiring all gasoline vehicles to be gasoline/ethanol flex-fuel will have been enacted. It would give a significant market 'pull' to renewable fuels suppliers. It is also predicted that there will be a simultaneous development of 2nd Generation Bioethanol whose industrial production will probably start in 2015.

According to Lotus, methanol synthesis from atmospheric CO₂ will be developed and further manufactured from 2030.

With regard to self-ignition engines, it is predicted that CI engines will run on fuel synthesized in BTL Fischer-Tropsch process or DME obtained from methanol. Fig. 19 shows the time framework for the implementation of these fuels.

Dr Krzysztof Biernat discussed the problems with bio fuels in transport and presented the key issues of the future fuel usage. He predicts that by 2030:

- the European Union will have covered as much as one quarter of its road transport fuel needs by clean and CO₂-efficient bio fuels,
- a substantial amount of fuel will have been provided by a competitive European industry; for sure, it will significantly decrease the EU fossil fuel import dependence,



9 Source: Olah et al., The Methanol Economy

Rys. 18. Proponowany proces wytwarzania alkoholu syntetycznego

Fig. 18. The proposed synthetic alcohol production cycle

³⁾ DME – Dimethylester

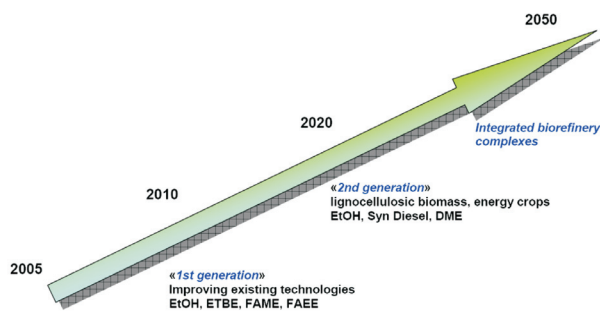
Lotus przewiduje także rozwój produkcji metanolu przez syntezę z wykorzystaniem CO₂ pochodzącego z atmosfery i początek produkcji przemysłowej w 2030 r.

W odniesieniu do silników ZS przewiduje się paliwo uzyskiwane z syntezy w procesie BTL Fischera-Tropscha lub DME uzyskiwane z metanolu. Harmonogram wprowadzania tych paliw pokazany jest na rysunku 19.

Problemy zastosowania biopaliw w transporcie omawiał dr inż. Krzysztof Biernat. Przedstawił założenia pewnej wizji:

- do 2030 roku Unia Europejska pokryje 1/4 potrzeb paliwowych swojego transportu drogowego biopaliwami wykazującymi małą emisję związków toksycznych i CO₂,
- przeważającą ilość paliw dostarczy przemysł europejski, co wyraźnie obniży zależność energetyczną,
- zapotrzebowanie na nowoczesne technologie produkcji biopaliw zaskutkuje dostawców, producentów i przemysł samochodowy.

Realizacja tej wizji wymaga konkurencyjności technologii wytwarzania biopaliw, co zmusza do rozwoju biorafinerii i stosowanych w nich technologii. Wymaga to także odpowiedniej strategii rozwoju rolnictwa, wykorzystania istniejących źródeł energii oraz zastosowania biotechnologii.



Rys. 20. Rozwój paliw w najbliższych latach

Fig. 20. Fuel development in the nearest future

Upowszechnienie biopaliw wymaga ustalenia dla nich i ich mieszanin norm jakościowych i emisyjnych. Związane jest to oczywiście także z rozwojem nowoczesnych i wydajnych napędów zmierzających do optymalizacji procesów wykorzystania energii *well-to-wheel*.

Przyszłość rozwoju paliw wg omawianej wizji pokazana została na rysunku 20 i stanowi uzupełnienie przewidywań pokazanych na rysunku 19. Według strategicznej oceny biopaliw pod względem skomplikowania produkcji i potencjalnego znaczenia rynkowego największe znaczenie wśród paliw obecnej generacji ma metan pochodzący z gazów fermentacyjnych, a dla paliw III generacji najistotniejszy wydaje się wodór pochodzenia fermentacyjnego (BioHydrogen), rys. 21.

Podobnej kategoryzacji zostały poddane potencjalne źródła energii, rys. 22. Wykorzystywanie do celów energetycznych zbóż i nasion jest już technologicznie opanowane,

- sustainable and innovative technologies of bio fuels manufacturing will create opportunities for biomass suppliers, biofuel producers and the automotive industry.

In order to realize the above-mentioned predictions, bio fuels technologies should compete with one another. It would force fuel manufacturers to develop bio-refinery and improve their technologies. It requires also an appropriate strategy for agriculture development, other energy sources as well as the use of biotechnology.

Utilization of bio fuels and their blends on a mass scale needs both quality and emission norms. It is connected with advanced and efficient Powertrain that optimizes "well-to-wheel" energy use.



Rys. 19. Harmonogram wprowadzania nowych paliw

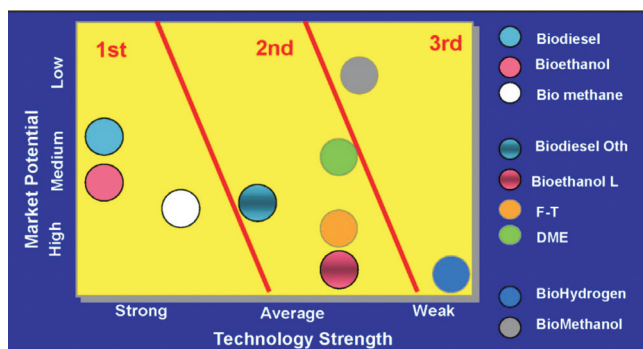
Fig. 19. The schedule of new fuels implementation

The future fuel development, discussed by Mr. Biernat, is shown in Fig. 20 and it complements Fig. 19. On the basis of fuels assessment in terms of production simplicity and their potential importance for the market, it can be concluded that methane formed through fermentation seems to be the most efficient fuel; by contrast, among the third generation fuels, hydrogen that is formed through fermentation (biohydrogen) becomes the key fuel source, Fig. 21.

The potential sources of energy were also assessed in a similar way, Fig. 22. Technology of conversion crops and seeds into energy have already been implemented; however, other sources of energy still require a lot of investment and research to be widely used. Fig. 23 illustrates the basic conversion pathways of various energy sources, such as waste, biomass, and fats, into fuels.

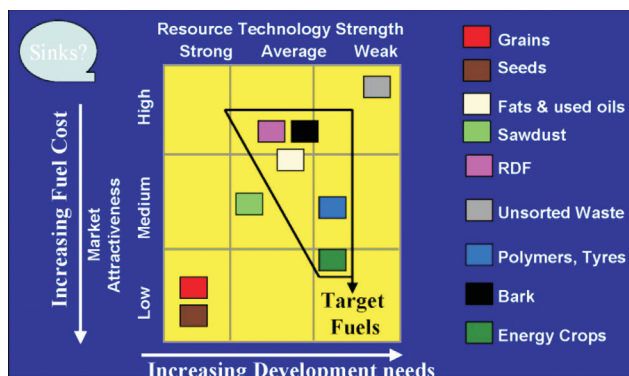
Directive 98/70 and Directive 2003/17/EC contain the environmental fuel quality specifications for petrol and diesel fuels with the focus on biofuel blending. Whereas Fuels Quality Directive EN 590 (diesel) allows only 5% biodiesel in diesel oil, the Directive EN 228 allows only 5% ethanol in petrol.

There are the main changes in quality demands for gasoline and diesel fuel according to the fourth edition of



Rys. 21. Kategoryzacja paliw I, II i III generacji

Fig. 21. The fuel classification into the 1st, 2nd, and 3rd generation



Rys. 22. Kategoryzacja potencjalnych paliw pod względem niezbędnych nakładów rozwojowych i kosztów produkcji; grains – zboża; seeds – nasiona; Fats&used oils – tłuszcze i zużyte oleje; Sawdust – trociny; unsorted waste – niesortowane odpady; Polymers, Tyres – polimery, opony; Bark – kora; Energy crops – plody rolne

Fig. 22. The classification of future fuels in terms of necessary research and development cost and effort; grains; seeds; fats and used oils; sawdust; unsorted waste; polymers and tyres; bark; energy crops

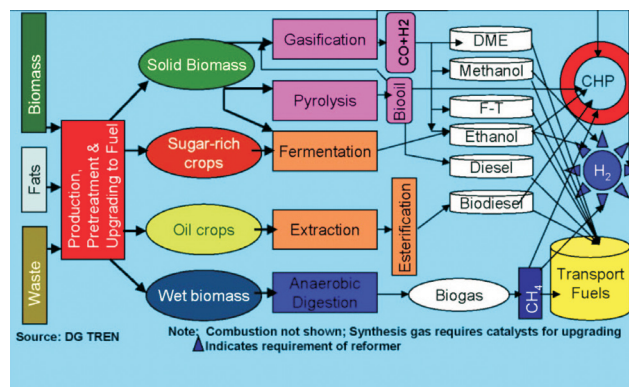
jednak odzyskiwanie energii z innych źródeł wymaga znacznych nakładów kapitałowych i badawczych. Podstawowe zasady pozyskiwania paliw z odpadów, biomasy i tłuszczu zostały zilustrowane na rysunku 23.

Wymagania odnośnie właściwości paliw i wytyczne w zakresie stosowania biopaliw określają obecnie przepisy Dyrektyw Europejskich 98/70/WE i 2003/17/WE. Norma Europejska EN 590 określa dopuszczalną domieszkę 5% biopaliw w olej napędowym, a EN 228 określa 5% dopuszczalną granicę dodatku etanolu do benzyny.

Światowa Karta Paliw z grudnia 2006 r. zmieniła niektóre wymagania jakościowe dla benzyny i oleju napędowego w zakresie:

- zmniejszenia maksymalnej zawartości siarki z 200 do 150 mg/kg dla benzyny kategorii 2, a dla kategorii 4 maksymalna zawartość wynosi 10 mg/kg,
- zmniejszenia maksymalnej zawartości olefin do 18% mg/kg dla benzyn kategorii 2,
- zmniejszenia maksymalnej zawartości węglowodorów aromatycznych do 25% dla benzyn kategorii 3 i 4,
- zmniejszenia minimalnej liczby cetanowej do 51,0 dla oleju napędowego kategorii 2 i do 53,0 dla kategorii 3,
- zmniejszenia maksymalnej zawartości siarki do 200 mg/kg dla oleju napędowego kategorii 1 i do 50 mg/kg dla kategorii 2,
- określenia maksymalnej zawartości siarki dla oleju napędowego kategorii 4 na 10 mg/kg,
- zwiększenia zawartości węglowodorów aromatycznych w oleju napędowym kategorii 3 i 4 odpowiednio do 20 i 3%,
- zawartość Zn, Cu, Mn, Ca określono jako niewykrywalną.

Obowiązująca Dyrektywa 98/70 nie określa ograniczeń zawartości biokomponentów w oleju napędowym, określa natomiast maksymalną gęstość paliwa, co stanowi ograniczenie pośrednie. Istniejąca propozycja COM(2007)18 także nie ogranicza tej zawartości, ale utrzymuje ograniczenie maksymalnej gęstości oleju napędowego.



Rys. 23. Podstawowe procesy pozyskiwania paliw ze źródeł odnawialnych

Fig. 23. Fuel production from the renewable sources

Worldwide Fuel Charter introduced in December 2006:

- reduction of sulphur content from 200 mg/kg to 150 mg/kg for gasoline in category 2,
- maximal limit for sulphur content in category 4 is 10 mg/kg,
- reduction of olefins content to 18% mg/kg for gasolines in category 2,
- reduction of aromatics content to 25% for gasolines in category 3 and 4,
- reduction of minimal cetane number to 51.0 for diesel fuel in category 2 and to 53 in category 3,
- specifications for interactions between cetane number and cetane index for diesel fuel,
- reductions of sulphur content to 2000 mg/kg for diesel fuel in category 1 and raising of this level to 50 mg/kg for diesel fuel in category 1,
- upper limit of sulphur for diesel fuel in category 4 is 10 mg/kg,
- raising of aromatics content in diesel fuel in category 3 and 4 to 20% and 3%,
- define as „non-detectable” contents of metals eg. Zn, Cu, Mn, Ca, in diesel fuel of 2, 3, 4 category.

Existing Directive 98/70 contains no limit on biodiesel content in diesel. It sets a maximum diesel density that might hamper use of biodiesel. There is proposal COM(2007)18 which also does not specify the limit on biodiesel content; however, it sustains the limit on maximum diesel density.

With regard to petrol, maximum oxygenate contents is specified:

- 5% by volume for ethanol,
- 15% by volume for ethers,
- maximum 2.7% oxygen content overall,
- no waiver permitted for increase in vapour pressure when blending ethanol in petrol; vapour pressure is set at 60 kPa.

Prof. J. Czerwiński focused on PM and NO_x emissions from CI engines in the near future. He brought attention to nanoparticles emission and referred to their assessment methods. The actual legislation that concerns PM emissions defines gravimetric methods for estimating PM mass. In

W odniesieniu do benzyny przepisy ograniczają zawartość związków tlenowych:

- do 5% (objętościowo) dla etanolu,
- do 15% (objętościowo) dla eterów,
- do 2,7% całkowitej zawartości tlenu,
- niedopuszczalne są środki podnoszące nadmiernie prężność par paliwa dla mieszanki benzyny z etanolem; ciśnienie to zostało określone na 60 kPa.

Prof. J. Czerwiński skoncentrował się na problemach emisji cząstek stałych PM (*Particulate Matter*) i tlenków azotu z silników ZS w najbliższej przyszłości. Zwrócił uwagę na wzrastające znaczenie emisji nanocząstek, co wymaga zmiany metod ich oceny. Obecne przepisy oceny emisji cząstek stałych odnoszą się do określania ich masy metodami grawimetrycznymi. W przyszłości sposoby te zostaną prawdopodobnie zastąpione metodami określania liczby cząstek (PN – *Particle Number*).

Badania emisji nanocząstek muszą uwzględniać ich istotne właściwości:

future this method will be replaced and PM emissions will be calculated on the basis of the particle number method.

The research on nanoparticles emissions must take their following properties into account:

- negligible mass,
- astronomically high numbers,
- penetration like gases.

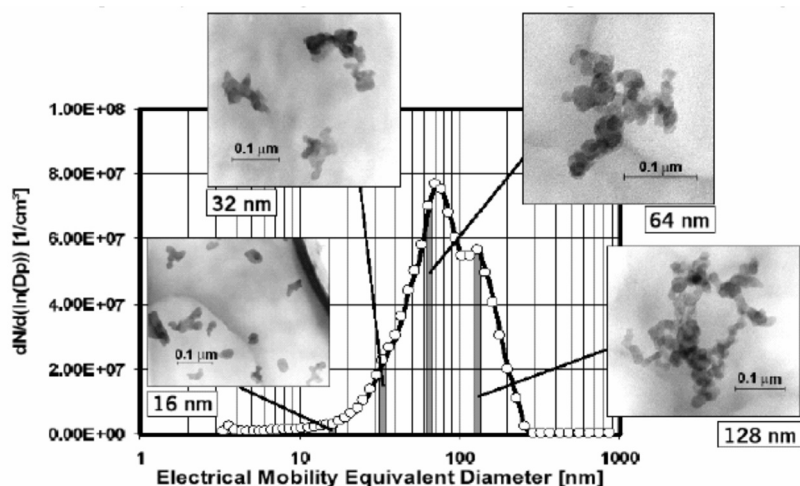
Fig. 24 shows nanoparticles decomposition with respect to their size. Due to their irregular shape the direct measurement of nonparticles is impossible; therefore, their size is estimated with the use of the equivalent diameter.

One of the ways of reducing PM emissions is a diesel particulate filter, which has become a fixed component of the exhaust filtering system, Fig. 25. It allows reducing the emissions by 99%, Fig. 26.

A rapidly increasing amount of NO₂ emissions and an intensified ozone formation create another problem. The results of measurements in Germany are shown in Fig. 27. To diminish NO_x emissions, reactors DeNO_x are used.

They have a two-fold function. On the one hand, they absorb and trap NO_x; on the other hand they enable catalytic reduction. It can be either a nonselective catalytic reduction, applied in passenger cars owing to its simplicity, but despite its low efficiency; or it can be a selective catalytic reduction (SCR), which is more complicated because it requires an additional reduction agent (urea). So far such a system has been implemented in engines powering heavy duty vehicles. Fig. 28 presents a selective catalytic reduction in an Iveco engine. Similar devices have already been applied by Daimler (model E 320 Blutec) and GM (Opel Vision GL 320 Blutec).

Fig. 29 shows that in the near future systems which combine PM filter with NO_x emission reduction devices, especially SCR, will be in use. Below there



Rys. 24. Rozkład koncentracji nanocząstek w zależności od ich wielkości

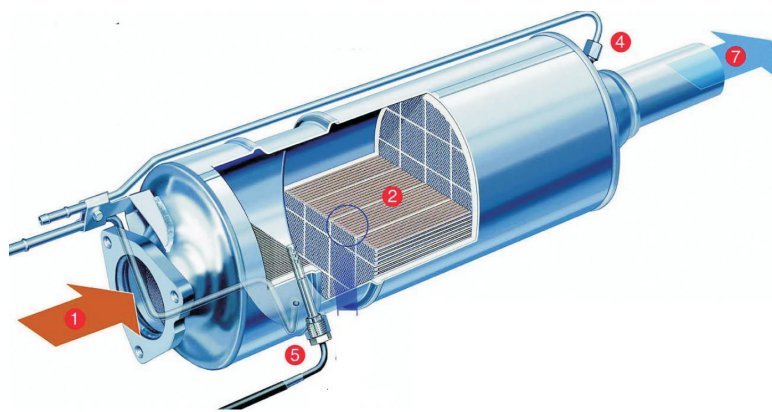
Fig. 24. The nano-particles distribution with respect to their size

- masa jest pomijalnie mała,
- liczba jest astronomicznie wielka,
- rozprzestrzenienie następuje podobnie do gazów.

Rozkład koncentracji nanocząstek w zależności od ich wielkości pokazano na rysunku 24. Ze względu na nieregularny kształt cząstek uniemożliwiający bezpośredni pomiar ich wielkości określa się ich średnicę zastępczą.

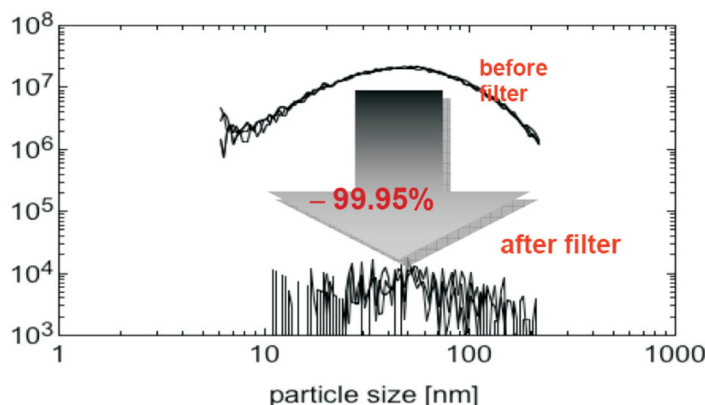
Metodą ograniczania emisji cząstek jest filtr cząstek stałych (DPF – *Diesel Particle Filter*), który w obecnych rozwiązaniach jest częścią systemu filtrowania spalin, rys. 25. System taki umożliwia bardzo istotne zmniejszenie emisji, nawet o ponad 99%, rys. 26.

Osobny problem stwarza gwałtownie wzrastająca emisja dwutlenku azotu i wzra-



Rys. 25. System filtrowania cząstek stałych (PFS – *Particle Filter System*)

Fig. 25. Particle Filter System



Rys. 26. Zmniejszenie koncentracji cząstek stałych w spalinach przez zastosowanie filtra PFS

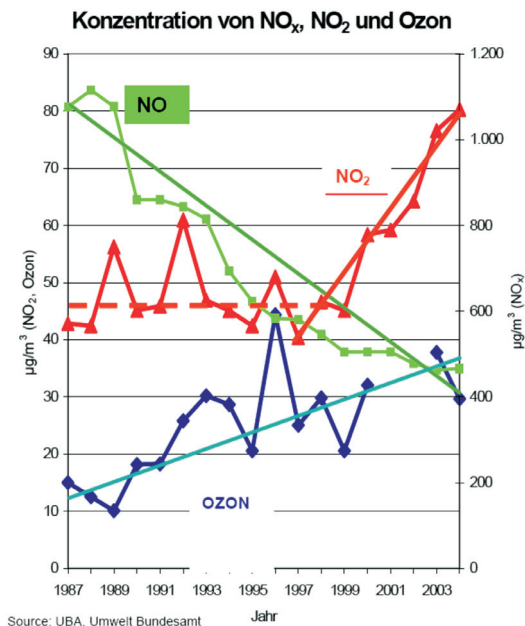
Fig. 26. The reduction of particulate matter emissions in exhaust gas owing to PFS

stająca intensywność tworzenia się ozonu. Wyniki badań tych wielkości w Niemczech pokazano na rysunku 27. Do zmniejszenia emisji tlenków azotu stosowane są reaktory typu deNO_x. Spełniają one dwie funkcje: pochłaniania i zatrzymywania tlenków azotu (NO_x – *Adsorber Pcars*, LNT – *Lean NO_x Trap*) oraz redukcji katalizacyjnej. Może to być proces typu NCR (*Nonselective Catalytic Reduction*), która jest stosowana w pojazdach osobowych ze względu na swoją względną prostotę, wykazuje jednak niewielką sprawność, lub proces typu SCR (*Selective Catalytic Reduction*), która jest bardziej złożony, gdyż wymaga doprowadzenia do katalizatora dodatkowego środka (mocznika). System ten był dotychczas stosowany w silnikach do samochodów ciężarowych. Przykład systemu SCR zastosowanego w silniku Iveco pokazano na rysunku 28. Podobne rozwiązania zaprezentowały już firmy Daimler (model E 320 Blutec) i GM (Opel Vision GL 320 Blutec)

Należy przewidywać, że w najbliższej przyszłości będą stosowane systemy stanowiące połączenie filtra cząstek stałych i układów redukujących emisję NO_x, szczególnie typu SCR, rys. 29. Przebieg reakcji chemicznych redukcji tlenków azotu w takim systemie można zamodelować następująco: Podstawowa reakcja SCR: $4\text{NH}_3 + 4\text{NO} + \text{O}_2 \rightarrow 4\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$
Szybka reakcja SCR: $4\text{NH}_3 + 2\text{NO} + 2\text{NO}_2 \rightarrow 4\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$
Wolna redukcja NO₂ w układzie SCR: $4\text{NH}_3 + 3\text{NO}_2 \rightarrow 3,5\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$
Reakcja amoniaku z tlenkiem azotu: $4\text{NH}_3 + 4\text{NO}_2 \rightarrow 2\text{NH}_4\text{NO}_3 + 2\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$

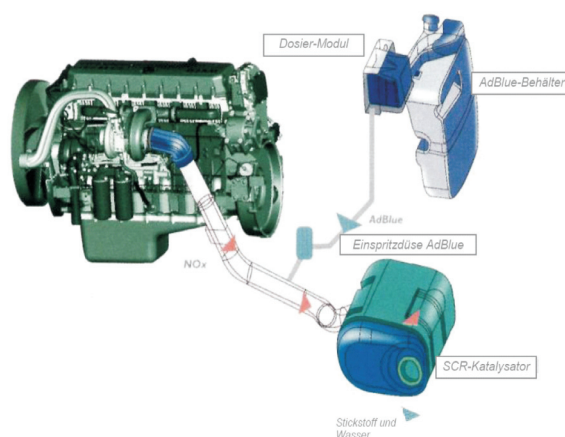
W związku z procesami katalizacyjnymi tworzą się nowe związki chemiczne, które wymagają zwrócenia uwagi. Są to np.: amoniak NH₃, tlenek azotu (I) N₂O, mocznik (NH₂)₂CO, kwas azotowy (III) HNO₂, kwas azotowy (V) HNO₃, azotan amonu NH₄NO₃, kwas cyjanurowy (HNCO)₃, kwas cyjanowy HOCN itp. Ich powstawanie wymaga dalszego skomplikowania systemów oczyszczania spalin i wymaga dalszej poprawy jakości stosowanego paliwa.

Prof. M. Wyszniński omówił najważniejsze kierunki badań prowadzonych nad przyszłościowymi silnikami i pa-



Rys. 27. Zmiany emisji NO, NO₂ i ozonu na autostradzie w Niemczech na przestrzeni lat

Fig. 27. The changes in NO, NO₂ and O₃ emissions on a German motorway over years



Rys. 28. System SCR zastosowany w silniku Iveco

Fig. 28. SCR in an Iveco engine

are models of NO_x reduction reactions that can occur in such systems:

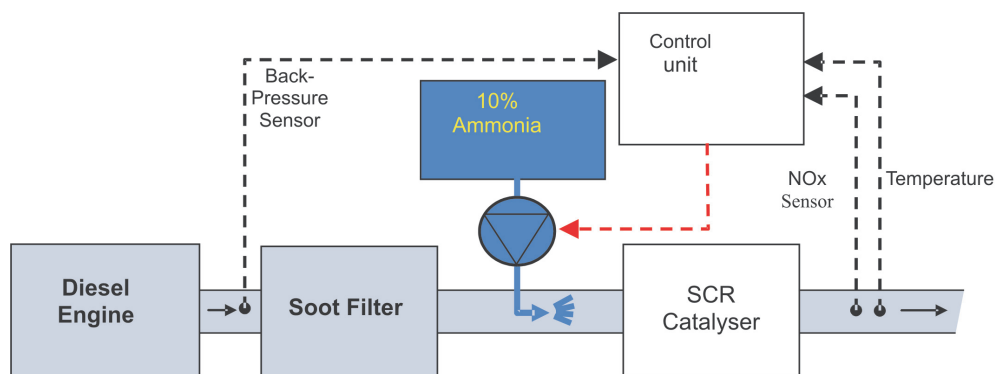
Standard SCR reaction: $4\text{NH}_3 + 4\text{NO} + \text{O}_2 \rightarrow 4\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$

Fast SCR reaction: $4\text{NH}_3 + 2\text{NO} + 2\text{NO}_2 \rightarrow 4\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$

Slow NO₂ SCR reaction: $4\text{NH}_3 + 3\text{NO}_2 \rightarrow 3,5\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$

Ammonium nitrate reaction: $4\text{NH}_3 + 4\text{NO}_2 \rightarrow 2\text{NH}_4\text{NO}_3 + 2\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$

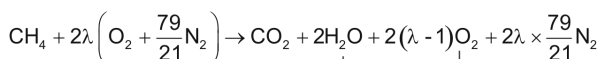
The outcome of chemical reactions is the formation of new chemical compounds that can be toxic such as nitric acid HNO₃, nitrous acid HNO₂, ammonium nitrate NH₄NO₃, ammonia NH₃, nitrous oxide N₂O, urea (NH₂)₂CO, isocyanic acid HNCO, cyanuric acid (HNCO)₃. Their formation requires further exhaust aftertreatment and fuel improvement.



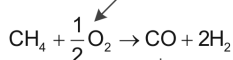
Rys. 29. Schemat układu wylotowego silnika wyposażonego w filtr cząstek stałych i katalizator deNOx z układem SCR

Fig. 29. The structure of the engine exhaust system with PFS and DeNOx catalyst with SCR

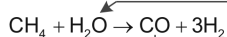
Combustion in the engine



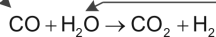
Partial oxidation



Steam reforming



Water gas shift



Rys. 30. Model przemian chemicznych w czasie ulepszania paliwa spalini wylotowymi

Fig. 30. The model of chemical reactions after enriching fuel with exhaust gas

liwami na Uniwersytecie w Birmingham (Anglia). W odniesieniu do silników ZS trwają tam prace nad optymalizacją wskaźników operacyjnych silnika zasilanego biopaliwem (głównie estrami metylowymi oleju słonecznikowego – RME) i jego emisją związków toksycznych. Badaniom podlegają także systemy spalania z mieszką jednorodną (HCCI – *Homogenous Charge Compression Ignition*), nie tylko w zastosowaniu do silników ZS, lecz także ZI zasilanych benzyną, propanem, gazem ziemnym, biogazem i etanolem. Rozważane jest także ulepszanie paliwa (*fuel reforming*) przy pomocy spalin, z których odzyskuje się palny tlenek węgla i wodór. Ulepszony dzięki tym zabiegom proces spalania pozwala na zmniejszenie emisji NO_x w silniku ZI zasilanym gazem ziemnym oraz obniżenie zależności emisji cząstek stałych i NO_x w silnikach ZS.

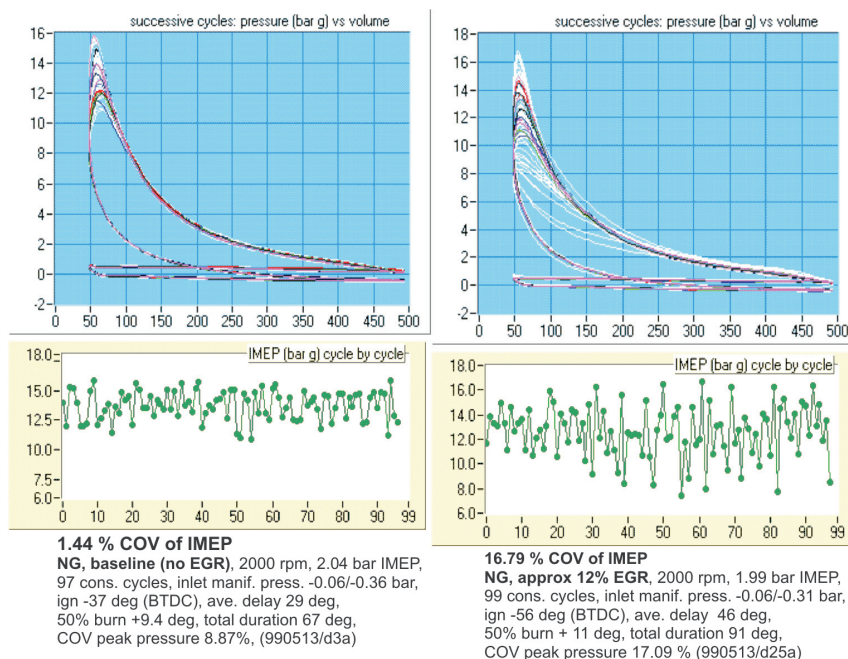
W zakresie oczyszczania spalin rozważa się zastosowanie systemu SCR

with regard to CI and SI engines fuelled with gasoline, propane, natural gas, biogas, ethanol as well. Furthermore, fuel reforming with exhaust gas has been considered, too. Fuel reforming incorporates CO and H_2 recovery from the exhaust gas so as to enhance combustion, and ultimately, to reduce NO_x emissions from SI engines fuelled with natural gas and to beat the NO_x -smoke trade-off for diesel and biodiesel.

With regard to exhaust aftertreatment, the SCR system has been meant to be an integrative part of hydrogen and hydrocarbon fuelling systems.

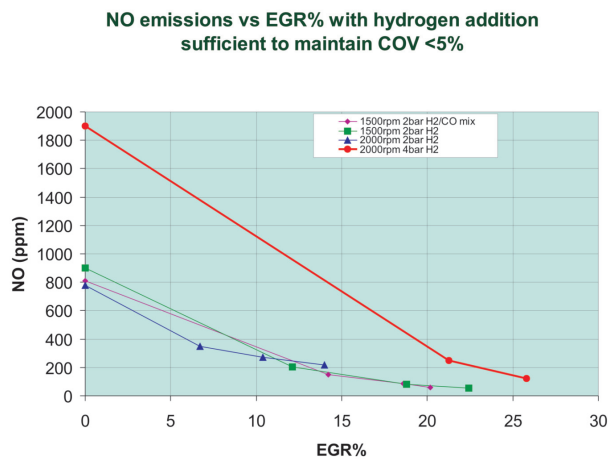
The above-mentioned fuel improvements with the use of exhaust gas are presented in fig. 30. In this model, partial methane oxidation generates carbon oxide, which combined with water vapour, burns and changes into carbon dioxide. The reaction releases flammable hydrogen.

The tests were conducted on an engine fuelled with natural gas at engine speed 2000 rpm and indicated pres-



Rys. 31. Wpływ zastosowania 12% recykulacji spalin na przebieg ciśnienia w cylindrze silnika zasilanego gazem ziemnym

Fig. 31. The influence of 12% exhaust gas recirculation on the course of the pressure



Rys. 32. Wpływ wielkości recyrkulacji spalin wzbogaconych wodorem na emisję NO_x

Fig. 32. The influence of reformed EGR on NO_x emissions

w odniesieniu do zasilania paliwem węglowodorowym i wodorem.

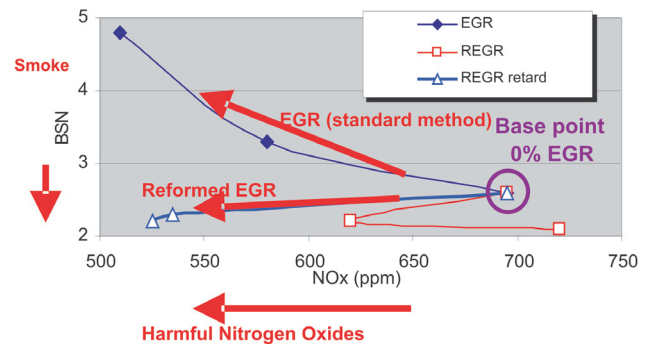
Wspomniane wyżej ulepszanie paliwa z wykorzystaniem spalin odbywa się wg schematu pokazanego na rysunku 30. W modelu tym częściowe utlenianie metanu prowadzi do wytworzenia tlenku węgla, który w połączeniu z parą wodną dopala się na dwutlenek węgla, a wydziela się przy tym palny wodór.

W silniku zasilanym gazem ziemnym przeprowadzono badania przy prędkości obrotowej 2000 obr/min i obciążeniu p_i ok. 2,0 MPa dla wariantu bez zastosowania recyrkulacji spalin (*no EGR*) oraz recyrkulacją 12% spalin. W tym drugim przypadku zaobserwowano znaczne zwiększenie nierównomierności pracy (z 1,44% do 16,79% współczynnika zmienności COV – *coefficient of variation*), określanej na podstawie przebiegów ciśnienia indykowanego, rys. 31. Uważa się wartość tej nierównomierności za dopuszczalną na poziomie 5%.

Wzbogacenie recyrkulowanych spalin wodorem wg schematu z rysunku 30 pozwala istotnie zwiększyć wielkość tej recyrkulacji z zachowaniem pożądanej równomierności pracy silnika. Duży udział spalin w ładunku cylindra wpływa znacząco na obniżenie emisji tlenków azotu, rys. 32. Wpływa jednocześnie na zmniejszenie zadymienia spalin, rys. 33.

Na zakończenie swojej prezentacji prof. Wyszyński zasugerował, że poszukiwane rozwiązania przyszłych napędów pojawiają się już na horyzoncie, lecz pozostało jeszcze wiele zagadnień do rozwiązania i badawczego ich zweryfikowania. Nie wszystkie elementy takich rozwiązań są już znane, a niektóre kierunki badań mogą się w przyszłości okazać fałszywe. Jako przykład posłużyło zauważone rozwiązanie nazwane przewrotnie *downsizingiem* 1-konnym, rys. 34.

(Opr. K. Wisłocki)



Rys. 33. Kierunki możliwego obniżania emisji NO_x i zadymienia spalin z wykorzystaniem recyrkulacji spalin EGR i recyrkulacji spalin wzbogaconych wodorem (*Reformed EGR*)

Fig. 33. NO_x emissions and opacity reduction tendencies with the use of EGR and reformed EGR

sure, 2.0 MPa without EGR (exhaust gas recirculation) and with 12% EGR. In the case of combustion with EGR, the coefficient of variation increased from 1.44% up to 16.79. Uneven engine operation was determined on the basis of the courses of indicated pressure, Fig. 31. Fluctuation below 5% is acceptable.



Rys. 34. Przykład downsizingu 1-konnego

Fig. 34. A one-horse downsizing

Adding hydrogen to circulating exhaust gas, as it is presented in Fig. 30, allows increasing considerably circulation efficacy and preserving the desirable even engine operation. A large exhaust gas share in the cylinder charge impacts NO_x emissions, Fig. 32. Besides, it also influences exhaust gas opacity reduction, Fig. 33.

In conclusion, prof. Wyszyński suggested that although future Powertrain research and development have already been instigated, there is still much to be done. Some aspects of these solutions are unknown; some may appear useless and unimportant in the end, for example, the so-called one-horse-power downsizing, Fig. 34.

(Ed. K. Wisłocki)