

## The prospects for the use of ethanol as a fuel component and its potential in the reduction of exhaust emissions

*This paper presents the progress in the introduction of fuels of higher content of ethanol and vehicle models adapted for fuelling with this type of fuels (FFV). Trends in the European legislation related to the standards of spark ignition engines exhaust emissions have been discussed. The results of a study of unleaded gasoline E10 proneness to forming deposits on the test engine intake valves in accordance with CEC F-20-98 test procedure have been presented. The paper also presents the results of a study of ethanol E85 proneness to forming deposits on the elements of the engine intake system when it contained inappropriate detergent additives.*

Key words: bioethanol, biofuel E85, exhaust emissions, engine deposits

## Perspektywy wykorzystywania etanolu jako składnika paliwa i jego potencjał w redukcji emisji szkodliwych składników spalin

*W artykule przedstawiono postępy we wprowadzaniu na rynki paliw o podwyższonej zawartości etanolu oraz modeli samochodów przystosowanych do eksploatacji przy stosowaniu takich paliw (FFV). Omówiono trendy w prawodawstwie europejskim w odniesieniu do norm emisji szkodliwych składników spalin z silników ZI. Przedstawiono wyniki badań skłonności benzyny bezołowiowej E10 do zanieczyszczania zaworów dolotowych w teście silnikowym CEC F-20-98. Podano także wyniki badania skłonności paliwa etanolowego E85 do tworzenia osadów na elementach układu zasilania silnika, w sytuacji zastosowania nieodpowiedniego pakietu dodatków detergentowych.*

Słowa kluczowe: bioetanol, biopaliwo E85, emisja spalin, osady w silniku

### 1. Introduction

Crisis in the oil supplies in the 1970's of the last century became one of the principal reasons for the addition of ethanol to fuels in the countries of the Americas.

In the USA, since 1980's of the last century, the application of ethanol and other oxygen compounds has been imposed by obligatory program in order to reduce exhaust emissions from internal combustion engines. The document of 1992 of the U.S. Department of Energy – Energy Policy Act (EPAAct) [1] determined the goals concerning energy security of the country and the improvement of the quality of natural environment [2]. According to this document, ethanol fuel E85 in the US is considered an alternative fuel. It is used to propel flexible fuel vehicle (FFV) engines, available in the American market in a wide range of models. This fuel nominally consists of 85% (V/V) of ethanol and 15% (V/V) of gasoline. Sometimes, (in some engine designs) the low content of gasoline in the E85 ethanol fuel or higher, renders the engines of FFV vehicles inoperative in low temperatures. The reason is the difference in volatility between ethanol and gasoline being a mixture of  $C_4 - C_{12}$  hydrocarbons and having a required range of boiling and ignition temperatures. Ethanol is a distinct chemical with specific properties and, in low temperatures, E85 or higher does not have the required volatility to support combustion. In that case, more gasoline (of up to 30%) is usually added to the blend to ensure efficient engine start. Monitoring of the quality of E85 ethanol fuel carried out in the years 2007-2009 in the USA demonstrated that its properties did not fulfill the specification requirements

### 1. Wstęp

W krajach Ameryki Północnej i Południowej kryzys w zaopatrzeniu w ropę w latach siedemdziesiątych ubiegłego wieku stanowił jedną z zasadniczych przyczyn zastosowania etanolu do paliw.

W USA począwszy od lat osiemdziesiątych XX wieku stosowanie etanolu i innych związków tlenowych zostało narzucone przez obligatoryjny program wprowadzania ich do paliw celem poprawy emisji z silników wewnętrznego spalania. W dokumencie U.S. Department of Energy's – Energy Policy Act z 1992 roku (EPAAct) [1] określono cele dotyczące bezpieczeństwa energetycznego kraju i poprawy jakości środowiska naturalnego [2]. W USA paliwo etanolowe E85, wg tego dokumentu, jest uznane za paliwo alternatywne. Jest ono stosowane do napędu silników pojazdów o elastycznym zasilaniu paliwem FFV (Flexible Fuel Vehicle), które są dostępne na rynku amerykańskim w szerokiej gamie modeli samochodów amerykańskich i innych. Paliwo to składa się nominalnie z 85% etanolu i 15% benzyny silnikowej. Czasami (w niektórych konstrukcjach silników) niska zawartość benzyny w paliwie etanolowym E85 (lub wyższym) uniemożliwia prawidłowe działanie silników pojazdów FFV w niskich temperaturach i sprawia to problemy. Powodem tego jest różnica w lotności pomiędzy etanolem i benzyną, która stanowi mieszaninę węglowodorów  $C_4 - C_{12}$ , ma wymagany zakres wrzenia oraz temperaturę zapłonu. Etanol jest odrębnym chemicznym związkiem o określonych właściwościach i w niskich temperaturach E85 (lub wyżej) nie osiąga wymaganej lot-

in respect of minimum and maximum content of ethanol and a minimum vapor pressure [3, 4]. These requirements consisted in determining the marginal content of ethanol in the E85 fuel for individual climatic class. The minimum ethanol content in E85 was determined at 68% (V/V) and maximum – 83% (V/V). The promotion of the use of E85 ethanol fuel in the USA is based on financial incentives designed to equalize the cost of this fuel and gasoline calculated per one kilometer of covered distance.

The application of ethanol fuels to fuel vehicle engines in Brazil is commonplace. This country boasts the greatest experience in the production of gasoline containing ethanol and is the world leader in the production of ethanol fuel. In the Brazilian market, fuels for spark-ignition engines have the ethanol content of 24% (V/V) – E24 or 100% (V/V) – E100 and ethanol is added to gasoline according to federal law requirements containing the percentage content determined by the Minister of Agriculture [5, 6, 7].

In the European Union, the use of energy from renewable sources in road transport has been promoted for many years. Fuel manufacturers have been encouraged to increase the content of ethanol from renewable sources in spark-ignition engine fuels. The 2009 European Directives RED [8] and FQD [9] allow a 10% increase in the ethanol content in traditional gasoline (V/V) and facilitate the design of vehicles fitted with flexible fuel engines (fuelled by both unleaded gasoline and E85 ethanol fuel). According to the study [10], the possible market share of FFV vehicles powered by E85 will increase from 1% in 2012 to 10% in 2020.

In order to render the development of FFV vehicles possible in the European Union and to ensure their basic functionality, the European Committee for Standardization CEN has developed a CWA 15293:2005 standardizing document [11], in which necessary minimum quality of E85 ethanol fuel was determined prior to its introduction on the market. However, very soon the FFV vehicles became subject to increased requirements of the Euro 5 emission standard that came in force in September 2009 [6]. Because of that, the requirements included in the CWA turned out to be insufficient to conform to the European emission standards. Therefore, the next step was the development of a technical specification (CEN/TS 15293:2011) [12] published in February 2011 that changed some of the margins of quality coefficients, implementing limits for additional parameters. The differences in relation to the original CWA document concern:

- stricter requirements for octane numbers and sulfur content;
- modified requirements for parameters such as the content of higher alcohols (C3 – C5), content of ether, water, inorganic chlorides and phosphorus;
- introduction of climatic classes regulated by the range of vapor pressure related to the content of ethanol in the fuel;
- introduction of additional quality parameters such as density, content of copper, content of sulfates and electric conductivity;

ności do podtrzymania procesu spalania. Dlatego zwykle dodaje się więcej benzyny (do 30%) do mieszanki w celu zapewnienia skutecznego rozruchu silnika. Monitoring jakości paliwa etanolowego E85 przeprowadzony w latach 2007-2009 w USA wykazał, że właściwości tego paliwa nie spełniały wymagań specyfikacji w zakresie minimalnej i maksymalnej zawartości etanolu oraz minimalnej prężności par [3, 4]. Polegały one na ustaleniu granicznych udziałów zawartości etanolu w paliwie E85 dla poszczególnych klas klimatycznych. Minimalny udział etanolu w E85 ustalono na 68% (V/V), a maksymalny na 83% (V/V). Promocja stosowania paliwa etanolowego E85 w USA opiera się na zachętach finansowych skonstruowanych tak, aby koszty tego paliwa i benzyny silnikowej w przeliczeniu na kilometr przebiegu pojazdu były porównywalne.

W Brazylii stosowanie paliw etanolowych do napędu silników samochodowych jest powszechne. Kraj ten ma największe doświadczenia w produkcji benzyny silnikowej z udziałem etanolu i jest światowym liderem w produkcji etanolu paliwowego. Na rynku brazylijskim sprzedawane są paliwa silnikowe do samochodów z zapłonem iskrowym, gdzie udział etanolu wynosi 24% (V/V) (E24) lub 100% (V/V) (E100), przy czym alkohol do benzyny silnikowej dodawany jest, stosownie do wymogów prawa federalnego, w udziale procentowym ustalonym przez ministra rolnictwa [5, 6, 7].

W Unii Europejskiej od wielu lat prowadzona jest polityka promowania wykorzystania energii ze źródeł odnawialnych w transporcie drogowym. W tym celu zachęca się producentów paliw do rozszerzania udziału etanolu, pochodzącego ze źródeł odnawialnych, w paliwach do pojazdów samochodowych, wyposażonych w silniki o zapłonie iskrowym. Wydane w roku 2009 dyrektywy europejskie RED [8] i FQD [9] umożliwiają zwiększenie zawartości etanolu w tradycyjnej benzynie silnikowej do 10% (V/V), a także sprzyjają budowie pojazdów wyposażonych w silniki o elastycznym zasilaniu paliwem (FFV), wykorzystujących do napędu zarówno benzynę silnikową bezołowiową, jak i paliwo etanolowe E85. Według wyników badań przedstawionych w publikacji [10] możliwy udział pojazdów FFV zasilanych paliwem E85 na rynku wzrośnie z 1% w roku 2012 do 10% w roku 2020.

Celem umożliwienia rozwoju rynku pojazdów FFV w Unii Europejskiej i zapewnienia ich podstawowej funkcjonalności Europejski Komitet Normalizacyjny CEN opracował dokument normalizacyjny CWA 15293:2005 [11], w którym ustalono niezbędne minimum jakościowe dla paliwa etanolowego E85, aby mogło ono być wprowadzone na rynek. Wkrótce jednak na pojazdy FFV zostały narzucone zaostrzone wymagania normy emisji spalin Euro 5, która zaczęła obowiązywać od września 2009 roku [6]. W związku z tym wymagania zawarte w CWA okazały się niewystarczające do sprostania wymaganiom europejskich norm emisyjnych. Dlatego kolejnym krokiem było opracowanie specyfikacji technicznej CEN/TS 15293:2011 [12], którą opublikowano w lutym 2011 roku. Specyfikacja ta zmienia limity niektórych parametrów jakościowych i wprowadza

– removal from the specification of parameters such as appearance, content of unleaded gasoline, final boiling point and distillation residue.

Publication of the EN 15376 amended standard for ethanol as a component of E85 ethanol fuel is planned for the end of 2014.

## 2. Flexifuel vehicles available on the European market

Ethanol fuels are gaining economic significance increasingly because of the rising oil prices, increasing pressure for security of supplies, sustainability and reduced CO<sub>2</sub> emissions. Fuels containing higher levels of ethanol (typically E85) should be applied only to vehicles designed for E85. Application of fuel containing more than 10% ethanol in vehicles not designed for such a high ethanol level can result in driveability issues as well as increased corrosion of the fuel system. Flexifuel engines are equipped with especially hardened exhaust valve seat inserts, corrosion resistant injectors with increased flow rate and an ethanol resistant fuel system. Its engine control unit (ECU) is featured with two sets of calibration tables, one for E0 and the other for E85. By means of the oxygen sensor and a special type of software algorithm, it recognizes ethanol concentration in the fuel on a continuous basis during engine operation.

The FFV vehicles adapted for the combustion of E85 ethanol fuel are widely available in the USA and Brazil. In the European Union, this market is at the stage of accelerated development. The number of manufacturers who expand their offers by the FFV models is gradually growing. Prices of these vehicles are set at the level of corresponding, traditional gasoline-fueled vehicles. The FFV vehicles are available in the European market in a wide range of models: from small passenger cars through light-duty and heavy-duty vans [13]. The market of cars sold in the European Union is continually growing and in 2008 the number of FFV vehicles amounted to 79 thousand; the largest number of these vehicles was sold in Sweden (about 60 thousand), which, in terms of FFV popularity, places this country before Germany, Holland and France [13]. Availability of FFV vehicle brands and models in the EU differs throughout the member countries and depends on the specific market. Table 1 collectively presents which brands of the FFV vehicles are currently available in the EU countries.

## 3. European Union exhaust emissions standards for passenger cars

The policy of reducing pollution originating from the road transport sector responsible for 12% of the total CO<sub>2</sub> emission in the European Union [15] concerns the emission of exhaust gas components such as nitrogen oxides NO<sub>x</sub>, carbon monoxide CO, unburned hydrocarbons HC, particulate matter PM and the emission of carbon dioxide CO<sub>2</sub> as a greenhouse gas component GHG. The schedules for the limiting of the harmful components (NO<sub>x</sub>, CO, HC, PM) are specified by the Euro emission standards. The plan for reducing CO<sub>2</sub> was presented in the Order of the European Parliament and European Council (EC) no 443/2009

limity dodatkowych parametrów. Różnice w stosunku do pierwotnego dokumentu, tj. CWA, dotyczą:

- zaostrożenia wymagań dla liczb oktanowych i zawartości siarki,
- zmiany wymagań dla parametrów, takich jak zawartość: wyższych alkoholi (C3 – C5), eterów, wody, chlorków nieorganicznych, fosforu,
- wprowadzenia klas klimatycznych regulowanych zakresem prężności par powiązanych z zawartością etanolu w paliwie,
- wprowadzenia dodatkowych parametrów jakościowych, jak: gęstość, zawartość miedzi, zawartość siarczanów, przewodność elektryczna,
- wycofania ze specyfikacji parametrów, takich jak: wygląd, zawartość bezołowiowej benzyny silnikowej, temperatura końca destylacji i pozostałość po destylacji.

Publikacja znowelizowanej normy EN 15376 dla etanolu jako składnika paliwa etanolowego E85 jest planowana na koniec 2014 roku.

## 2. Pojazdy FFV dostępne na rynku europejskim

Paliwa etanolowe zyskują coraz większe znaczenie ekonomiczne ze względu na rosnące ceny ropy naftowej, zwiększenie nacisku na bezpieczeństwo dostaw, zrównoważony rozwój i ograniczenia emisji CO<sub>2</sub>. W odniesieniu do paliw zawierających większe ilości etanolu, zwykle E85, tylko pojazdy zaprojektowane do zasilania paliwem E85 mogą używać ten gatunek paliwa. Stosowanie paliw zawierających powyżej 10% etanolu w pojazdach innych niż przeznaczone do wysokiej zawartości etanolu w paliwie może powodować problemy z właściwościami użytkowo-eksploatacyjnymi, a także wzrost korozyjności układu paliwowego. Tak zwany silnik Flexifuel wyposażony jest w szczególności w utwardzone wkładki gniazd zaworów wylotowych, wtryskiwacze odporne na korozję o zwiększonej wydajności, i odporny na działanie etanolu układ paliwowy. Jednostka sterująca silnika (ECU) jest wyposażona w dwa zestawy programów kalibracyjnych: jeden dla E0 i drugi dla E85, które za pomocą czujnika tlenu – sondy lambda i specjalnego typu algorytmu oprogramowania stale rozpoznają stężenie etanolu w paliwie w czasie pracy silnika.

Samochody FFV, przystosowane do spalania paliwa etanolowego E85, są obecnie szeroko dostępne w USA i Brazylii. W Unii Europejskiej rynek tych samochodów jest na etapie przyspieszonego rozwoju. Sukcesywnie zwiększa się liczba producentów samochodów, którzy do oferty sprzedaży wprowadzają modele samochodów FFV. Ceny tych samochodów ustalane są na poziomie cen ich odpowiedników zasilanych tradycyjną benzyną silnikową. Samochody FFV są dostępne na rynku europejskim w szerokim zakresie modeli – od małych osobowych do cięższych vanów [13].

Rynek samochodów sprzedanych w UE stale powiększa się i w 2008 roku liczba sprzedanych samochodów FFV wyniosła 79 000. Największy rynek tych pojazdów jest obecnie w Szwecji – 60 000 sztuk, która wyprzedza Niemcy, Holandię i Francję [13]. Dostępność marek i modeli samochodów FFV w UE jest różna wśród krajów członkowskich

Table 1. Flexi fuel vehicle models commercially available on the European market [13,14]

Tabela 1. Modele pojazdów FFV dostępne na rynku europejskim [13, 14]

FFV Vehicle Brand/marka pojazdu	Country/kraj
Audi A3 1.6e e-power E85 102 bhp Audi A4 2.0 TFSI flexible fuel 180 bhp	Sweden
Citroën C3 Flex Citroën C4 1.6/2.0 BioFlex Citroën C5 2.0 BioFlex	Sweden, Benelux, France, Switzerland
Dacia Duster 1.6 16v (E85) 4x2 Dacia Logan MCV 1.6 16v Hi-Flex (E85) Dacia Sandero 1.6 16v Hi-Flex (E85)	Sweden
Ford Focus Flexifuel FFV Ford C-Max Flexifuel FFV Ford Mondeo Flexifuel FFV Ford S-Max Flexifuel FFV Ford Galaxy Flexifuel FFV	Austria, Denmark, France, Germany, Ireland, Holland, Poland, Spain, Sweden, Switzerland, UK
Peugeot 307 1.6/2.0 BioFlex Peugeot 308 1.6/2.0 BioFlex Peugeot 407 2.0 BioFlex	Sweden, Benelux, France, Switzerland
Renault Clio III 1.2 16v Eco2 Renault Mégane / Mégane Touring / Mégane Coupé 1.6 16v Eco2 Flex Fuel Renault Kangoo / Kangoo Express 1.6 16v 105 Flex Fuel	Sweden, Benelux, France, Switzerland
SEAT León MultiFuel 1.6 MPI E85 102 bhp SEAT Altea MultiFuel 1.6 MPI E85 102 bhp SEAT Altea XL MultiFuel 1.6 MPI E85 102 bhp	European market
Škoda Octavia MultiFuel 1.6 MPI E85 102 bhp	Sweden, Benelux, France, Switzerland
Volvo C30 1.8F FlexiFuel Volvo S40 1.8F FlexiFuel Volvo V50 1.8F FlexiFuel Volvo XC60 (concept) 2.5FT FlexiFuel Volvo V70 2.0F FlexiFuel Volvo V70 2.5FT FlexiFuel Volvo S80 2.0F FlexiFuel Volvo S80 2.5FT FlexiFuel	European market
Volkswagen Golf and Golf Plus Volkswagen Jetta	Germany, Sweden, Benelux and Switzerland

of 23 April 2009. It determines the emission standards for new passenger cars as part of an integrated approach of the Community to the reduction of CO<sub>2</sub> emission from light-duty transport vehicles [16].

Table 2 presents the requirements of the European standards in respect of the emission of exhaust components such as CO, HC, NO<sub>x</sub> and PM from light-duty passenger vehicles fitted with spark-ignition engines.

Average CO<sub>2</sub> emission from new cars has dropped rapidly in the last 10 years. It is chiefly due to more advanced vehicle technologies, engine designs, exhaust gas aftertreatment systems, let alone the improvement in fuel quality (reduced content of sulfur of less than 10 mg/kg). The new European Union principles [16] concerning the emission of CO<sub>2</sub> from passenger cars are some of the most demanding regulations related to protection of the environment in the automobile industry. The said legal act determines the necessity of reduction of CO<sub>2</sub> to 130 g/km for an average new automobile class by means of further advancement in technology of engine design. Continued emission reduction to the target of 120 g CO<sub>2</sub>/km is to take place following a continuous improvement of automobile technologies and the use of biofuels meeting the sustainable development criteria [16]. The information

i zależy od rynku. W tabeli 1 podano zbiorczo jakie marki samochodów FFV dostępne są obecnie w krajach UE.

### 3. Normy emisji spalin dla samochodów osobowych w Unii Europejskiej

Polityka redukcji zanieczyszczeń z sektora transportu drogowego, który w 12% odpowiada za całkowitą emisję CO<sub>2</sub> w Unii Europejskiej [15], dotyczy emisji składników spalin takich jak: tlenki azotu NO<sub>x</sub>, tlenek węgla CO, niespalone węglowodory HC, cząstki stałe PM oraz emisji ditlenku węgla CO<sub>2</sub> jako składnika gazów cieplarnianych GHG. Harmonogram ograniczania szkodliwych składników spalin w zakresie NO<sub>x</sub>, CO, HC, PM podają normy emisji Euro. Harmonogram ograniczania CO<sub>2</sub> podano w Rozporządzeniu Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 443/2009 z dnia 23 kwietnia 2009 r. określającym normy emisji dla nowych samochodów osobowych w ramach zintegrowanego podejścia Wspólnoty na rzecz zmniejszenia emisji CO<sub>2</sub> z lekkich pojazdów dostawczych [16].

W tabeli 2 przedstawiono kolejne wymagania europejskich norm emisji szkodliwych składników spalin, takich jak: CO, HC, NO<sub>x</sub> i PM z lekkich samochodów osobowych z silnikami o zapłonie iskrowym.



Table 2. Maximum admissible limits of exhaust components emitted from gasoline engine vehicles

Tabela 2. Maksymalne dopuszczalne wielkości graniczne substancji szkodliwych emitowanych ze spalinami z pojazdów napędzanych silnikami benzynowymi

Standard/norma	Euro 1	Euro 2	Euro 3	Euro 4	Euro 5	Euro 6
Date of introduction/data wprowadzenia	January 1992	January 1996	January 2000	January 2005	September 2009	August 2014
g/km						
Carbon monoxide/tlenek węgla CO	2.72	2.20	2.30	1.00	1.000	1.000
Unburned hydrocarbons/niespalone węglowodory HC	–	–	0.20	0.10	0.100	0.100
Nitrogen oxides/tlenki azotu NO <sub>x</sub>	–	–	0.15	0.08	0.060	0.060
HC+NO <sub>x</sub>	0.97	0.50	–	–	–	–
Particulate matter/cząstki stałe PM	–	–	–	–	0.005*	0.005*

\* concerns direct fuel injection engines only/dotyczy tylko silników z bezpośrednim wtryskiem paliwa

in [17] shows that an agreement was reached between the European Parliament and the European Council on the CO<sub>2</sub> emissions targets for new passenger cars for 2020. This agreement defines the way in which the target of 95 g CO<sub>2</sub>/km should be reached.

The most important issues with respect to passenger cars by [18] are:

- a reduction of the average CO<sub>2</sub> emissions from new cars to 120 g/km where the reduction of 10 g/km comes from complementary measures including increased use of bio-fuels,
- the schedule for reaching the above objective is as follows:
  - 65% of new cars will comply with requirements by 2012,
  - 75% by 2013,
  - 80% by 2014,
  - 100% by 2015,
- implementation of ecological innovations by the vehicle supplier or manufacturer, which enables individual target reduction of CO<sub>2</sub> emission by up to 7 g CO<sub>2</sub>/km,
- preferential financing for purchasers of vehicles emitting less than 50 g CO<sub>2</sub>/km,
- niche automobile manufacturers (from 10 thousand to 300 thousand cars) may apply to the European Commission for preferential values that cannot be higher than 25% when compared to the average reduction of individual CO<sub>2</sub> emission in 2007,
- the average CO<sub>2</sub> emission of a new car in 2020 cannot exceed 95 g/km, after precise evaluation of the set target,
- a proposal of flexible scale penalties for ignoring the CO<sub>2</sub> reduction requirements; the manufacturers that exceed the target by more than 3 g/km will pay 95 € for each gram. Smaller fees of 5 € and 25 € are forecasted for exceeding the limit by 1–3 g/km,
- upon the review of the evolution of the number of new passenger vehicles registered in the European union and all the changes in the control procedure of the measurement of individual levels of CO<sub>2</sub>, the targets of carbon dioxide emission may be corrected and will be reviewed every three years.

Średnia emisja CO<sub>2</sub> z nowych samochodów gwałtownie spadła w ciągu ostatnich dziesięciu lat. Postęp ten dokonał się przede wszystkim w wyniku rozwoju technologicznego pojazdów, konstrukcji silników i układów oczyszczania spalin, wspomaganych przez postęp w jakości paliw, głównie przez obniżenie zawartości siarki w paliwach do poziomu poniżej 10 mg/kg.

Nowe zasady prawne Unii Europejskiej [16] dotyczące emisji CO<sub>2</sub> dla samochodów osobowych należą do jednych z najbardziej wymagających przepisów w przemyśle motoryzacyjnym związanych z ochroną środowiska. Ten akt prawny określa konieczność redukcji CO<sub>2</sub> do 130 g/km dla średniego nowego parku samochodowego za pomocą ciągłego doskonalenia technologii konstrukcji silników. Dalsza redukcja emisji do docelowego poziomu 120 g CO<sub>2</sub>/km ma nastąpić w wyniku dalszego udoskonalania technologicznego pojazdu oraz w wyniku zwiększenia wykorzystania biopaliw spełniających kryteria zrównoważonego rozwoju [16]. Z informacji zawartych w publikacji [17] wynika, że osiągnięto porozumienie pomiędzy Parlamentem Europejskim i Radą dotyczące zmniejszenia emisji CO<sub>2</sub> dla nowych samochodów osobowych w 2020 roku. Umowa ta określa sposób, w jaki powinien zostać osiągnięty cel – 95 g CO<sub>2</sub>/km.

Podstawowymi punktami powyższego rozporządzenia [18] dla samochodów osobowych są:

- redukcja emisji CO<sub>2</sub> przez nowe samochody do 120 g/km, w tym redukcja 10 g/km, ma pochodzić ze stosowania zwiększonego udziału biopaliw,
- harmonogram dochodzenia do powyższego jest następujący:
  - 65% nowych samochodów będzie zgodne z wymaganiami w 2012 r.,
  - 75% w 2013 r.,
  - 80% w 2014 r.,
  - 100% w 2015 r.,
- wdrożenie innowacji ekologicznych przez dostawcę lub producenta samochodów pozwalających na zmniejszenie jego docelowego indywidualnego poziomu emisji CO<sub>2</sub> do 7 g CO<sub>2</sub>/km,
- korzystne kredyty dla nabywających pojazdy emitujące mniej niż 50 g CO<sub>2</sub>/km,

According to Regulation 443/2009 (EC) [16], the use of some alternative fuels may ensure significant reduction of CO<sub>2</sub> emission at all stages of the fuel chain. Therefore, this Regulation includes specific provisions that promote using vehicles fueled with alternative fuels in the European market, which also includes FFV vehicles. Article 6 of the Regulation establishes target individual levels of CO<sub>2</sub> emission for vehicles fueled with alternative fuels and it promotes the use of E85 ethanol fuel for fueling vehicles fitted with spark-ignition engines. Therefore, it is proposed that the individual level of CO<sub>2</sub> emission for each vehicle that can be adapted for E85 ethanol fuel – which in turn fulfills the requirements of relevant regulations of the EC and the European Specification – will be reduced by 5% by 31 December 2015. However, this reduction can be implemented only when at least 30% of the gas stations in individual member states, in which the vehicles are registered, offer ethanol fuel and when it fulfills the criteria of sustainable development determined for biofuels in the RED and FQD Directives.

#### **4. Sources of exhaust emissions when fueled with E85**

Combustion of fuels in engines always generates some undesirable products emitted in the engine exhaust gas. Vehicle fuel systems generate unburned fuel vapor, and open-vented engine crankcases release combustion products and oil vapors [19]. E85 is an engine fuel and, as such, its handling and storage causes emissions of toxic chemical pollutants and greenhouse gases. The emission of pollutants to the air occurs through evaporation of the fuel and combustion of the fuel in vehicle engines. However, the emission from E85 fueled engines is generally lower compared to that of the gasoline fueled engines [20].

##### **4.1. Evaporative emissions**

Air pollution through emission of chemical compounds resulting from evaporation of the ethanol fuel or gasoline can take place if penetration of vapors, ventilation of the tank, fuel leakage or vapor escape occurs. Penetration of vapors may take place alongside the fuel system (construction materials). This kind of emission, however, occurs more frequently for gasoline containing a low proportion of ethanol (E5 and E10 fuels) [21]. Ventilation of the fuel tank takes place when the fuel vapors escape from the tank during refueling and when gasoline evaporates in high ambient temperatures. Starting from the beginning of 2000, the ventilation of the tank is controlled by an on-board vapor-reclaiming unit installed in cars fuelled by E85 or gasoline [21]. Vapor may also come from fuel leakage or vapor escape. This type of emission is less common in FFV vehicles because of a continual improvement of the sealing materials applied in these vehicles [20, 21].

##### **4.2. Exhaust emissions**

Harmful air pollution resulting from fuel combustion in a car engine is emitted from the exhaust system after passing through a catalytic exhaust gas aftertreatment system. Reduction of exhaust emissions includes such exhaust com-

- producenci niszowi (10 000 do 300 000 sztuk) mogą wnioskować do Komisji Europejskiej o odstępstwo, które nie może być wyższe niż 25% w stosunku do redukcji średniego indywidualnego poziomu emisji CO<sub>2</sub> w 2007 r.,
- średnia emisja CO<sub>2</sub> nowego samochodu w 2020 r. nie może przekraczać 95 g/km, po przeprowadzeniu dokładnej oceny ustalonego celu,
- propozycja wprowadzenia elastycznej skali nakładania kar za niespełnienie wymagań ograniczania CO<sub>2</sub>; producenci przekraczający ich celowe wymagania o więcej niż 3 g/km zapłacą 95 € za każdy dodatkowy gram. Mniejsze opłaty od 5 € i 25 € przewidziane są dla zakresu przekroczeń pomiędzy 1–3 g/km,
- po dokonaniu przeglądu, który uwzględni ewolucję liczby nowych samochodów osobowych zarejestrowanych we Wspólnocie oraz wszelkie zmiany w regulacyjnej procedurze kontrolnej pomiaru indywidualnych poziomów emisji CO<sub>2</sub>, cele emisji CO<sub>2</sub> mogą być skorygowane i będą podlegać przeglądowi co trzy lata.

Według zapisów Rozporządzenia (EC) 443/2009 [16] stosowanie niektórych alternatywnych paliw może zapewnić znaczącą redukcję emisji CO<sub>2</sub> na wszystkich etapach łańcucha paliwowego. Dlatego Rozporządzenie to zawiera szczególne przepisy służące promowaniu na rynku Unii Europejskiej pojazdów napędzanych paliwami alternatywnymi, w tym pojazdów FFV. Artykuł 6 Rozporządzenia mówi o docelowych indywidualnych poziomach emisji CO<sub>2</sub> dla pojazdów zasilanych paliwem alternatywnym i promuje wykorzystanie do napędu silników samochodów o zapłonie iskrowym paliwa etanolowego E85. Z tego względu proponuje się, aby indywidualny poziom emisji CO<sub>2</sub> dla każdego takiego samochodu, który może być przystosowany do zasilania paliwem etanolowym E85, a które z kolei spełnia wymagania odpowiednich przepisów wspólnotowych a także europejskiej specyfikacji, został zmniejszony o 5% do 31 grudnia 2015 r. Jednak redukcję tę można zastosować tylko wtedy, gdy w danym państwie członkowskim, w którym pojazd został zarejestrowany co najmniej 30% stacji paliw będzie dostarczać paliwo etanolowe i spełni ono kryteria zrównoważonego rozwoju wyznaczone dla biopaliw Dyrektywami RED i FQD.

#### **4. Źródła emisji substancji szkodliwych przy stosowaniu paliwa etanolowego E85**

Spalanie paliw w silnikach zawsze generuje pewne niepożądane produkty emitowane w gazach spalinowych z silnika. Dodatkowo z układów paliwowych pojazdów wydostają się niespalone pary paliwa, a z wentylowanych w układzie otwartym skrzyń korbowych silników ulatniają się produkty spalania paliwa i pary oleju smarującego [19]. Paliwo etanolowe E85 jest paliwem silnikowym i jako takie powoduje emisję zanieczyszczeń toksycznych substancji chemicznych i gazów cieplarnianych podczas dystrybucji i magazynowania. Emisja zanieczyszczeń do powietrza atmosferycznego następuje w wyniku odparowania paliwa i jego spalania w silnikach samochodowych. Jednak emisja, której źródłem jest paliwo etanolowe E85 jest na ogół

ponents as  $\text{NO}_x$ , CO, HC and other toxic compounds formed in the air, generated by exhaust gas e.g. formaldehyde, 1,3-butadiene and  $\text{CO}_2$ . A numerous comparative studies are being conducted of emissions of harmful substances from the combustion of E85 ethanol fuel E85 and gasoline. National Renewable Energy Laboratory (NREL) in Ohio studied the emission and fuel consumption in an FFV vehicle (1996 Ford Taurus) fueled with E85 ethanol fuel or reformulated

mniejsza w porównaniu z emisją przy stosowaniu tradycyjnej benzyny silnikowej [20].

#### 4.1. Emisja na skutek odparowania paliwa

Zanieczyszczenie powietrza związkami chemicznymi na skutek parowania paliwa etanolowego E85 lub benzyny silnikowej może następować w wyniku przenikania par, odpowietrzania zbiornika paliwa, wycieku paliwa lub wydostawania się par. Przenikanie par może następować poprzez materiały konstrukcyjne układu paliwowego. Jednak ten rodzaj emisji występuje częściej przy stosowaniu benzyn silnikowych zawierających niski udział etanolu, jak paliwa E5 i E10 [21]. Odpowietrzenie zbiornika paliwa występuje wtedy, gdy pary paliwa wydostają się ze zbiornika podczas tankowania, a także gdy benzyna silnikowa odparowuje pod wpływem wysokiej temperatury otoczenia. Począwszy od 2000 r. odpowietrzanie zbiornika paliwa jest kontrolowane przez pokładowe urządzenia odzysku par, instalowane w samochodach zasilanych paliwem E85 lub benzyną silnikową [21]. Pary mogą pochodzić także z wycieków paliwa lub wydostawania się par z układu paliwowego. Ten rodzaj emisji jest mniej powszechny w samochodach FFV, ze względu na ciągłe doskonalenie materiałów uszczelniających stosowanych w tych samochodach [20, 21].

#### 4.2. Emisja gazów spalinowych silnika

Szkodliwe zanieczyszczenia powietrza, powstałe na skutek spalania paliwa w silniku samochodowym, są emitowane z układu wydechowego po przejściu przez katalityczny układ oczyszczania spalin. Ograniczanie emisji szkodliwych substancji do powietrza atmosferycznego obejmują takie składniki, jak:  $\text{NO}_x$ , CO, HC oraz inne związki toksyczne powstające w powietrzu, których przyczyną są spaliny, np. formaldehyd, 1,3-butadien i inne, a także  $\text{CO}_2$ . Przeprowadzono liczne badania porównawcze emisji substancji szkodliwych pochodzących ze spalania paliwa etanolowego E85 i ze spalania tradycyjnej benzyny silnikowej. National Renewable Energy Laboratory w Ohio wykonało badania emisji i zużycia paliwa w samochodzie FFV Ford Taurus (1996) zasilanym paliwem etanolowym E85 i benzyną silnikową reformulowaną z zawartością tlenu 2,7 % (m/m) [22].

Na rysunkach 1 i 2 przedstawiono porównanie emisji tlenków azotu ( $\text{NO}_x$ ), węglowodorów (HC) i tlenku węgla (CO) oraz ditlenku węgla ( $\text{CO}_2$ ) z samochodu FFV zasilanego paliwem E85 lub benzyną reformulowaną RFG oraz z samochodu zasilanego benzyną reformulowaną RFG [22].

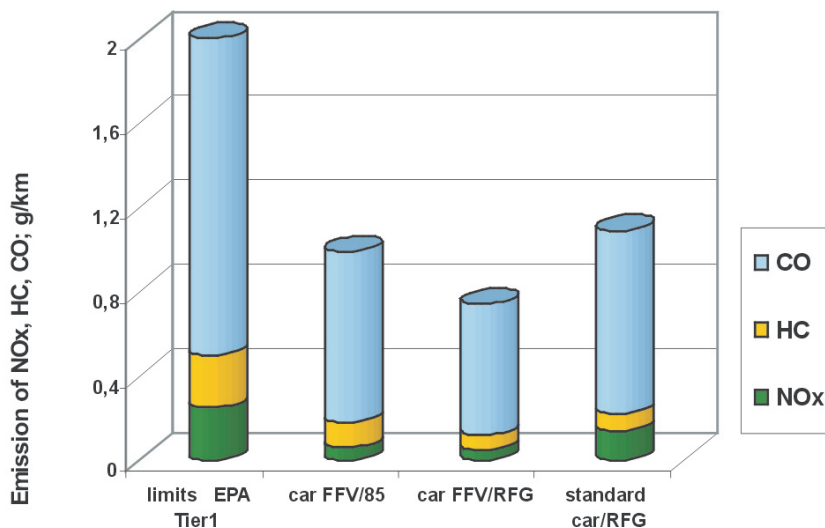


Fig. 1. Comparison of  $\text{NO}_x$ , HC and CO emission from cars

Rys. 1. Porównanie emisji  $\text{NO}_x$ , HC, CO z samochodów

gasoline with 2.7% (m/m) oxygen content [22]. Fig. 1 and 2 present a comparison of emissions of nitrogen oxides ( $\text{NO}_x$ ), hydrocarbons (HC), carbon monoxide (CO) and carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ ) originating from a FFV fueled with E85 or reformulated gasoline (RFG) and from a standard car fuelled with reformulated gasoline (RFG) [22]. A standard car fueled with reformulated gasoline, even though fulfilled the requirements of the standard EPA Tier 1, had higher emissions than the FFV car. The  $\text{CO}_2$  level was distinctly lower when the FFV engine was fueled with E85 rather than reformulated gasoline.

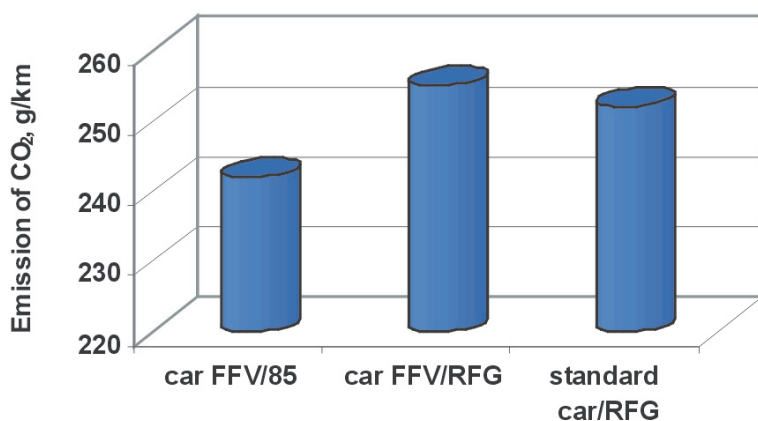


Fig. 2. Comparison of  $\text{CO}_2$  emission from cars

Rys. 2. Porównanie emisji  $\text{CO}_2$  z samochodów



Research studies carried out in relation to the influence of fuel combustion on air pollution on fleets of various car models do not always render convergent and unambiguous findings due to a large number of variables. However, in 2008 the NREL in the USA carried out a detailed analysis of the test data, relating them to the existing emission requirements [23]. These studies compare emission changes between E85 fueled FFV vehicles and gasoline fueled FFV vehicles or standard vehicles fueled with gasoline, but not

Samochód tradycyjny zasilany benzyną silnikową reformulowaną pomimo spełnienia limitów EPA Tier 1 charakteryzował się wyższą emisją niż samochód typu FFV. Wyraźnie mniejszy był poziom  $\text{CO}_2$  w sytuacji zasilania silników samochodów FFV paliwem etanolowym E85 niż benzyną silnikową reformulowaną.

Badania prowadzone w zakresie wpływu spalania paliw na zanieczyszczenie powietrza atmosferycznego na flotach różnych modeli samochodów nie zawsze podają zbieżne i

jednoznaczne wnioski ze względu na dużą liczbę zmiennych. Jednak w 2008 r. National Renewable Energy Laboratory (NREL) w USA przeprowadziło szczegółową analizę danych z badań, odnosząc ją do obowiązujących wymagań emisji [23]. Studia te przedstawiają porównanie zmian w emisji z pojazdów typu FFV zasilanych paliwem etanolowym E85 z emisją z pojazdów FFV zasilanych benzyną silnikową lub pojazdów samochodowych zasilanych benzyną silnikową nieprzystosowanych do zasilania paliwem etanolowym E85. Wyniki tej analizy [23] wskazywały, że średnio emisja ditlenku węgla  $\text{CO}_2$  ze spalania badanych paliw we wszystkich badanych typach pojazdów albo uległa zmniejszeniu dla paliw etanolowych, albo statystycznie nie stwierdzono istotnej różnicy pomiędzy spalaniem paliwa etanolowego E85 i benzyny silnikowej. Różnice zauważono przy emisji innych toksycznych związków chemicznych powstających na skutek spalania paliw w silniku. I tak pojazdy FFV napędzane paliwem etanolowym przyczyniały się do wzrostu zawartości formaldehydu, aldehydu octowego i metanu w otaczającym powietrzu. W ramach europejskiego projektu BEST badano możliwość przystosowania tradycyjnych samochodów napędzanych benzyną bezołowiową do zasilania paliwem etanolowym E85. Celem tego była, między innymi, ocena emisji gazów cieplarnianych i emisji zgodnej z wymaganiami EURO [24]. Badano

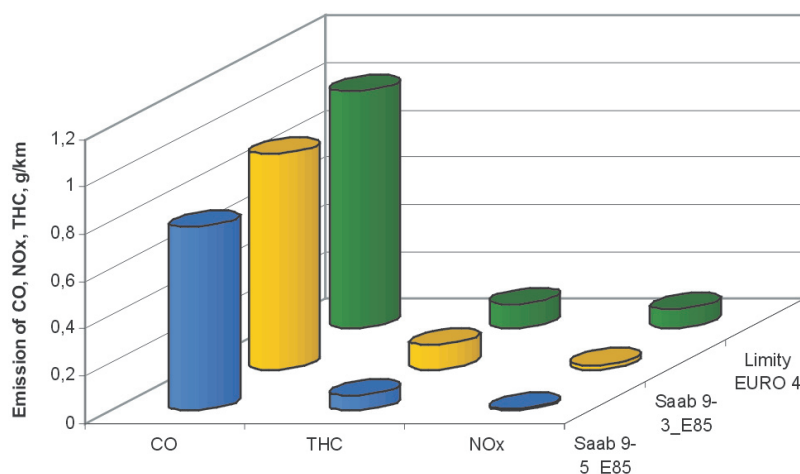


Fig. 3. Emission from adapted cars fueled with E85

Rys. 3. Emisja z samochodów przystosowanych do zasilania E85

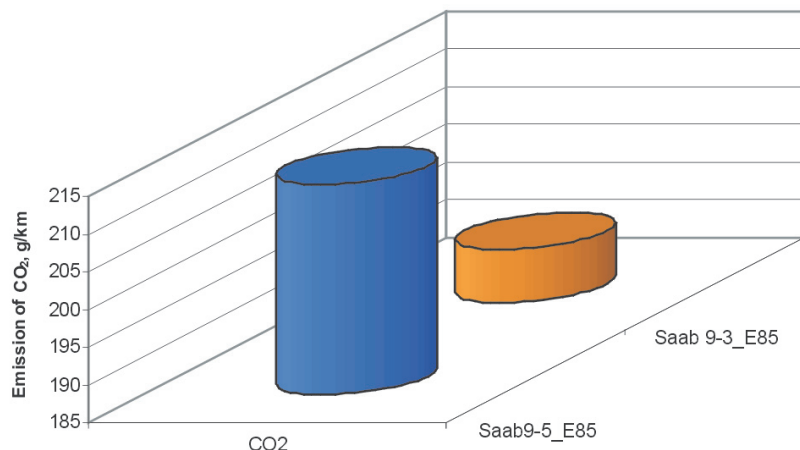


Fig. 4. Emission of  $\text{CO}_2$  from adapted cars fueled with E85

Rys. 4. Emisja  $\text{CO}_2$  z samochodów przystosowanych do zasilania E85

adapted for E85 fueling. The results of this analysis [23] demonstrated that the average emission of carbon dioxide from combustion of the investigated fuels in all types of tested vehicles, was either reduced or its difference, when E85 and gasoline were compared, was statistically insignificant. Differences were observed in the emission of other toxic compounds formed during fuel combustion. Thus, FFV vehicles fueled with E85 ethanol fuel contributed to the increased content of formaldehyde, acetaldehyde and methane in the air.

następujące samochody: Saab 9.5 2.3T 2004, Opel Signum 2,0 T 2004 i Chevrolet Colorado 2,8 litra 2006. Modele te wyposażone były w oprogramowanie BSR Flexifuel w układzie sterowania silnikiem. Emisję spalin badano według New European Driving Cycle (NEDC). NEDC jest obecnie obowiązującym cyklem badań dla europejskiej certyfikacji w zakresie emisji zanieczyszczeń z samochodów osobowych. W rezultacie badań emisji, przeprowadzonych w warunkach podanych w publikacji [24], otrzymano wyniki poniżej limitów Euro 4. Rysunki 3 i 4 pokazują wyniki [24] emisji



The framework of BEST (a European project), has analyzed the possibility of adapting traditional cars fueled with gasoline to E85 fueling. The aim of the task was, inter alia, the evaluation of the greenhouse gas emissions and EURO emissions [24]. The subject of the study were the following cars: 2004 2.3T Saab 9.5, 2004 2.0T Opel Signum and 2006 2.8 Chevrolet Colorado. These models are fitted with ECU systems based on the BSR flexifuel software. Exhaust emissions were studied according to New European Driving Cycle (NEDC). NEDC is the applicable test cycle for European emission certification of light-duty vehicles. Emission tests conducted under conditions given in [24] yielded results below the Euro 4 limits. Fig. 3 and 4 show the results of the [24] exhaust emissions tests on vehicles adapted to E85 ethanol fueling.

### 5. Emission of GHG in the life cycle of ethanol E85

The emission of greenhouse gases (GHG) related to production and application of ethanol fuel consists of emissions obtained in the evaluation of the E85 life cycle, starting from the location of the farmland through the combustion of the fuel in a car engine. Life cycle analysis is a technique used to assess the environmental impacts of all stages of a product life, including raw material extraction, processing, manufacturing, distribution, use, and disposal or recycling. The use of ethanol as a vehicle fuel has measurable benefits in terms of greenhouse gas emissions, compared to gasoline. Carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ ) emitted when ethanol is used as fuel in cars is balanced by the  $\text{CO}_2$  captured during the cultivation. As a result, the combustion of ethanol in FFV cars causes a lower net  $\text{CO}_2$  emission than it is for conventional vehicles per unit of traveled distance [25]. A study conducted in 2007 by Argonne National Laboratory has shown that when the entire fuel life cycle was taken into account, the use of corn-based ethanol instead of gasoline reduced greenhouse gas emissions in the life cycle by 19% to 52% depending on the energy source used during the production of ethanol. The use of cellulose-derived ethanol provides an even greater reduction in greenhouse gas emissions by up to 86% [25].

### 6. Technical and operational concerns and challenges

It is commonly known that ethanol-gasoline blends can pose many engine operation-related technical problems because ethanol differs from gasoline in some key properties. This poses a challenge when solving issues related to the deposits on the intake valve, combustion chambers, intake system and injector nozzles, increased valve sticking, cold-weather starting, fuel system corrosion, fuel filter clogging and loss of fuel economy. Ethanol has a heat of vaporization of 855 J/g, which is 280% more than gasoline. This higher heat of vaporization results in a 245% better charge cooling when E85 is applied and allows increased compression ratio and ignition advance [26]. At the same time, the increased fuel vaporization and increased amount of fuel in the intake port has a strong cooling effect and

toksycznych składników spalin z pojazdów przystosowanych do napędzania paliwem etanolem E85.

### 5. Emisja GHG w cyklu życia paliwa etanolowego E85

Na emisję gazów cieplarnianych GHG, związaną z wytworzeniem i zastosowaniem paliwa etanolowego E85, składają się emisje cząstkowe, uzyskane w ocenie cyklu życia produktu jakim jest to paliwo, począwszy od lokalizacji gruntów rolnych pod uprawy aż do spalania tego paliwa w silniku samochodowym. Analiza cyklu życia to technika wykorzystywana do oceny oddziaływania na środowisko wszystkich etapów życia produktu, w tym wydobycia surowca, przetwarzania, produkcji, dystrybucji, użytkowania i utylizacji lub recyklingu. Stosowanie etanolu jako paliwa do pojazdów ma wymierne korzyści w aspekcie emisji gazów cieplarnianych w porównaniu ze stosowaniem benzyny silnikowej. Emisja ditlenku węgla ( $\text{CO}_2$ ) emitowanego podczas stosowania etanolu jako paliwa w samochodach jest równoważona przez  $\text{CO}_2$  wychwytywane w czasie upraw. W rezultacie samochody FFV, spalając etanol emitują mniej  $\text{CO}_2$  netto niż konwencjonalne pojazdy na jednostkę przebytej drogi [25]. Badania przeprowadzone w 2007 r. przez Argonne National Laboratory pokazały, że kiedy bierze się pod uwagę cały cykl życia paliwa, stosowanie etanolu pochodzącego z kukurydzy zamiast benzyny silnikowej powoduje zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych w cyklu życia o 19% do 52%, w zależności od źródła energii wykorzystywanej podczas produkcji etanolu. Stosowanie etanolu pochodzącego z celulozy zapewnia jeszcze większą redukcję emisji gazów cieplarnianych – nawet o 86% [25].

### 6. Problemy, wyzwania techniczne i eksploatacyjne

Powszechnie wiadomo, że mieszanki etanolu z benzyną silnikową mogą powodować wiele problemów technicznych w pracy silnika, ponieważ etanol różni się od benzyny silnikowej w niektórych kluczowych właściwościach. Stanowi to wyzwanie w zakresie rozwiązywania problemów związanych z krytycznymi osadami na zaworach dolotowych, w komorach spalania, w układzie dolotowym i na końcówkach wtryskiwaczy, wzrostem tendencji do zawieszania zaworów, utrudnionym rozruchem w warunkach niskich temperatur, korozją układu paliwowego, zatykaniem filtra paliwa i wzrostem zużycia paliwa. Etanol charakteryzuje się ciepłem parowania 855 J/g, 280% większym niż benzyna. To wyższe ciepło parowania powoduje o 245% lepsze chłodzenie ładunku mieszanki paliwowo-powietrznej, gdy stosowane jest E85, co umożliwia podwyższenie stopnia sprężania i zwiększenie wyprzedzenia zapłonu [26]. Zwiększone odparowanie paliwa z równoczesnym zwiększeniem ilości paliwa znajdującego się w kanale dolotowym powoduje silny efekt chłodzenia, a tym samym zwiększa się gradient temperatury w głowicy, który nakłada się na inne naprężenia wynikające z obciążenia mechanicznego, zwiększonego ciśnienia spalania i resztkowe naprężenia cieplne, co prowadzi do pęknięć powstających w najbardziej obciążonych strefach głowicy silnika [26]. Ważnym problemem są siarczany przenoszone



Fig. 5. Valve deposit formation from E10 fuel treated with standard additive package unsuitable for ethanol-gasoline blend [29]

Rys. 5. Utworzone na zaworach osady pochodzących z paliwa E10, do którego zastosowano standardowy pakiet dodatków nieodpowiedni dla mieszanin etanol-benzyna [29]

thereby increases the thermal gradient across the cylinder head. It is superimposed on other stresses from the mechanical load, increased combustion pressure and residual thermal stresses, which leads to formation of cracks in the highly stressed zones of the engine head [26]. A serious question is the carry-over sulfates in the ethanol. Sulfates are impurities from the bio-ethanol fermentation process but may as well be derived from certain types of corrosion inhibitors used in E85. Sulfates are soluble in ethanol, but can precipitate when ethanol is blended with gasoline, thus significantly contributing to the filter and fuel injector clogging, let alone forming deposits on the intake valves and combustion chambers. It is well known that spark ignition combustion engines can build up large deposits in both port fuel injected engines and direct injected engines. These deposits increase the fuel consumption, cause higher exhaust emissions and poor performance. Therefore, in the World Wide Fuel Charter (WWFC), car manufactures recommend using gasoline additives (including detergents) to improve the quality of gasoline. However, in terms of fuel additives, ethanol blended fuels create unique challenges. Although high ethanol content fuels are clean-burning fuels, deposits can still build up in engines, particularly on the intake ports, intake valves and injectors nozzles. Ethanol vaporizes at a much higher temperature than gasoline. This should cause some relative cooling in the intake system and on the intake valves. Valve temperature is believed to play a key role in the formation of intake valve deposit (IVD) [27]. In addition, solubility or polarity of the fuel can affect the behavior of both the deposit precursors and the detergent additives. Traditional gasoline detergent additives can have solubility problems in ethanol fuels leading to formation of deposits. Ethanol can also dilute some of

do paliwa etanolowego. Siarczany są zanieczyszczeniami z procesu fermentacji bioetanolu, ale mogą również pochodzić z pewnych typów inhibitorów korozji stosowanych w E85. Są one rozpuszczalne w etanolu, lecz mogą wytrącać się podczas mieszania etanolu z benzyną, znacząco przyczyniając się do zatykania filtra i wtryskiwaczy paliwa, jak również do tworzenia osadów na zaworach dolotowych i w komorach spalania. Wiadomo, że w silnikach spalinowych o zapłonie iskrowym mogą tworzyć się silne osady zarówno przy zastosowaniu pośredniego, jak i bezpośredniego wtrysku paliwa. Osady te zwiększają zużycie paliwa i powodują wyższą emisję gazów spalinyowych oraz pogorszą osiągi i właściwości użytkowo-eksploatacyjne. Dlatego producenci samochodów zalecają w Światowej Karcie Paliw (WWFC) stosowanie dodatku do benzyny (w tym dodatków detergentowych) w celu poprawy jej właściwości. Jednak z perspektywy dodatku do paliwa, mieszaniny paliw etanolowych tworzą unikalne wyzwania. Chociaż wysokoetanolowe paliwa są paliwami, które spalają się „czysto”, osady mogą nadal tworzyć się w silnikach, szczególnie w kanałach dolotowych, na zaworach dolotowych i na końcówkach wtryskiwaczy. Etanol odparowuje w znacznie wyższych temperaturach niż benzyna. Powinno to powodować odpowiednio większe chłodzenie w układzie dolotowym i na zaworach dolotowych. Uważa się, że temperatura zaworu odgrywa podstawową rolę w tworzeniu osadów na zaworach dolotowych (IVD) [27], ponadto rozpuszczalność lub polarność paliwa może mieć wpływ na zachowanie zarówno prekursorów osadów, jak i dodatków detergentowych. Tradycyjne dodatki detergentowe do benzyny mogą być trudno rozpuszczalne w paliwach etanolowych i prowadzić do tworzenia osadu. Etanol może również rozcieńczać niektóre składniki benzyny, które są znane z tworzenia osadów na zaworach dolotowych. Także pewne związki chemiczne obecne w handlowym dodatku detergentowym stwarzają problemy już przy stosowaniu w benzynie zawierającej jedynie 10% (V/V) etanolu. Standardowe testy silnikowe przeprowadzone w INiG zgodnie z procedurą testową CEC F-20-98 wykazały, że wprowadzenie 10% (V/V) etanolu do standardowej benzyny wraz z nieodpowiednio sformułowaniem pakietem dodatków powoduje wzrost tendencji do dużego wzrostu osadów na zaworach dolotowych (rys. 5)

Paliwa stanowiące mieszaniny wysokoetanolowe, w tym najbardziej popularna E85, zawierają mało lub nie zawierają



the gasoline components that are known to create intake valve deposits. Certain chemical compounds of commercial detergent additives may also cause problems when used in gasoline containing merely 10% (V/V) ethanol. Standard engine tests carried out by INiG in compliance with the CEC F-20-98 test procedure have shown that introducing 10% (V/V) ethanol into standard gasoline with unsuitably formulated additive package will result in forming much greater intake valve deposits Fig. 5.

Higher-level ethanol blends, including the most popular E85, contain little or no detergent additives. What is worse, many existing gasoline additives are not fully compatible with E85 and may not be completely soluble precipitating from the solution or being trapped on the fuel filters. Consequently, carbon-like deposits are typically found in the intake ports, on the intake valves and on the injectors nozzles of Flexifuel engines, which has been proved during INiG engine tests [29] – Fig. 6. These critical deposits generally result in poor vehicle perform-

żanych dodatków detergentowych. Ponadto wiele istniejących dodatków do benzyny nie jest w pełni kompatybilnych z E85, a także mogą być one całkowicie nierozpuszczalne, wypadając z roztworu w formie osadu, lub powodować zatykanie się filtrów paliwa. W konsekwencji osady koksowe zazwyczaj tworzą się w kanałach dolotowych, na zaworach dolotowych i na końcówkach wtryskiwaczy paliwa silników Flexifuel, co zostało potwierdzone w testach prowadzonych przez INiG na silnikowych stanowiskach badawczych [29] – rys. 6. Te krytyczne osady mogą powodować wzrost tendencji do zawieszania zaworów, korozji układu paliwowego, zwiększonego zużycia paliwa i emisji gazów spalinowych, zatykania filtrów paliwowych i ogólnie do pogorszenia osią-gów i właściwości użytkowo-eksploatacyjnych pojazdu.

Komeracyjnie dostępne dodatki do benzyn nie wydają się kompatybilne z E85, więc nie nadają się do tego rodzaju paliw. Również problemy w zakresie rozpuszczalności wykluczają korzystanie z tych samych dodatków jak do benzyn w paliwie E85. Wybór dodatku o niewłaściwym składzie

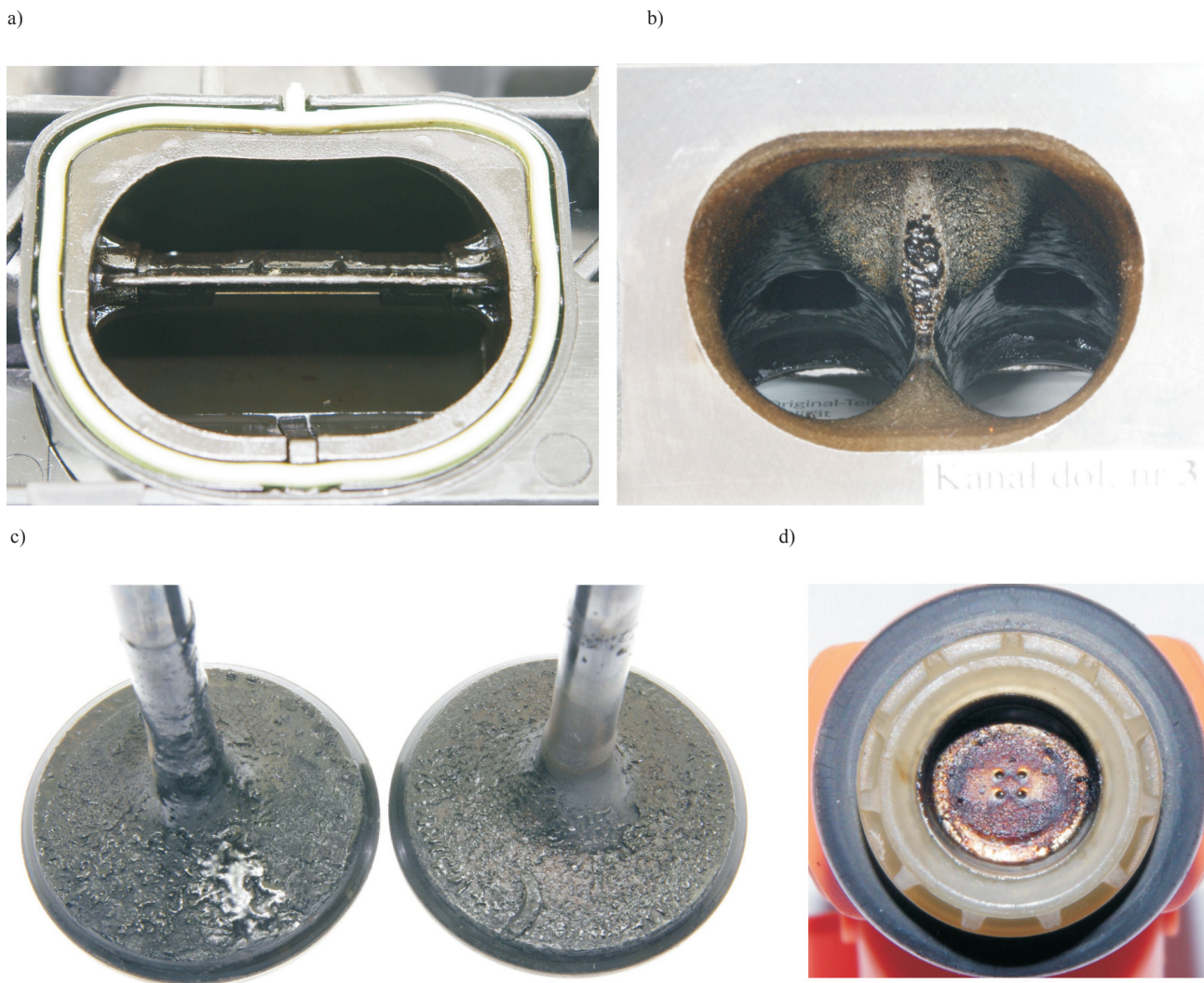


Fig. 6. Deposit formation on the intake ducts (a), intake ports (b), intake valves (c) and injector nozzle (d) from E85 treated with a standard additive package unsuitable for ethanol fuel [29]

Rys. 6. Osady utworzone w przewodach dolotowych (a), kanałach dolotowych (b) na zaworach dolotowych (c) i na końcówkach wtryskiwaczy (d) pochodzące z paliwa E85, do którego zastosowano standardowy pakiet dodatków nieodpowiedni dla paliwa etanolowego [29]

ance and can increase the tendency for valve sticking, fuel system corrosion, fuel consumption, exhaust emissions or fuel filter clogging.

Commercially available E85 does not appear to be compatible with conventional detergents partly due to solubility issues, which also precludes using these gasoline additives in E85 fuel. The influence of the interactions between various gasoline-ethanol blends and additives on the deposit formation in FFVs is still insufficiently explored. However, there is no doubt that using proper deposit control additives (generally a multifunctional package containing detergents) and choosing the correct treatment level can improve performance and counteract the said issues.

## 7. Summary

The introduction of E85 ethanol fuel into the market continues in both the United States and Europe. It is preceded by costly research in vehicle technologies and engine design and determination of suitable quality parameters for correct operation of all automobile systems. This shows the specific and inevitable changes that are progressing in the world energy balance. Even though the energy for motor transport obtained from renewable sources constitutes only a small percentage, the share of alternative fuels in the entire volume of engine fuels is growing.

The energy policy adopted by the Polish Government to be executed by 2030 indicates a growing integration of the Polish liquid fuel, natural gas and electric energy markets with the European systems, which necessitates a quest for and an increase in the energy security as well as the reserves of all liquid and gaseous fuels [28]. In Poland, the already existing ethanol manufacturing facilities enable the production of E85. The construction of the automobile market is the sum of actions and decisions of the entities that operate in it because the car models adapted for E85 fuel are already in production. In light of the assumptions of the government energy policy, the enforced Kyoto Protocol and the possibilities of trading surplus reduced greenhouse gas emission, there are possibilities of investing in fuel distribution network and creating advantageous financial mechanisms promoting such fuels.

Markets with ethanol-blended fuels must factor in that ethanol is not a traditional fuel, it still requires further development, and there are still issues to be resolved. For trouble-free operation, it is essential to use additives that have been properly formulated for the use in ethanol-containing fuels. Special additives will have to be formulated to overcome the technical challenges related to effective use of gasoline-ethanol blends.

## Acknowledgments

This paper is based on the project 'Influence of bioethanol fuels treatment on the operating performance, ecological properties and GHG emissions of spark ignition engines' under the Polish – Norwegian Research Cooperation in the years 2013 to 2015, No. Pol-Nor/199100/6/2013.

chemicznym może prowadzić do podobnych problemów, jeśli dodatek nie jest całkowicie rozpuszczalny w paliwie. Niewiele jeszcze wiadomo na temat interakcji pomiędzy różnymi mieszaninami benzyna-etanol i dodatkami w aspekcie ich tendencji do formowania osadów w silnikach FFV. Jednak nie ma wątpliwości, że za pomocą odpowiednich dodatków można kontrolować osady (zazwyczaj pakiet wielofunkcyjny zawierający detergenty) i wybierając odpowiedni poziom dozowania można poprawić właściwości eksploatacyjne oraz przeciwdziałać wyżej wymienionym problemom.

## 7. Podsumowanie

Wdrażanie na rynek paliwowy paliwa etanolowego E85 postępuje zarówno w USA, jak i w Europie. Poprzedzone jest to kosztownymi badaniami w zakresie zmian technologicznych pojazdów, konstrukcji silników, ustalania parametrów jakościowych odpowiednich dla właściwej pracy wszystkich układów montowanych w pojazdach samochodowych. Obrazuje to konkretne i nieuchronne zmiany, jakie następują w światowym bilansie energetycznym. Energia dla celów transportu samochodowego pozyskiwana jest ze źródeł odnawialnych; i chociaż obecnie jest to niewielki procent, to jednak udział paliw alternatywnych w ogólnej puli paliw silnikowych rośnie.

Przyjęte przez rząd polski zasady polityki energetycznej do 2030 r. to wzrastająca integracja polskich rynków paliw płynnych, gazu ziemnego, energii elektrycznej z systemami unijnymi i w ten sposób poszukiwanie i zwiększanie bezpieczeństwa energetycznego, a także zwiększanie poziomu zapasów wszystkich paliw, zarówno płynnych, jak i gazowych [28]. W Polsce, biorąc pod uwagę istniejące już instalacje produkujące etanol paliwowy, jest możliwość produkcji paliwa etanolowego E85. Budowa rynku samochodowego jest kwestią działań podmiotów operujących na tym rynku, gdyż modele samochodów przystosowanych do zasilania paliwem etanolowym E85 są już produkowane. W aspekcie nowych założeń polityki energetycznej rządu, obowiązywania protokołu z Kioto, możliwości handlu nadwyżkami redukcji emisji gazów cieplarnianych istnieją możliwości inwestycji w sieć dystrybucji paliwa i stworzenia korzystnych mechanizmów finansowych promujących takie paliwo.

Rynki z paliwami etanolowymi muszą jednak brać pod uwagę, że etanol nie jest tradycyjnym paliwem i nadal wymaga rozwiązania wielu problemów oraz dalszego rozwoju. Dla bezawaryjnej pracy silnika niezbędne jest stosowanie dodatków uszlachetniających, które zostały odpowiednio przygotowane do stosowania w paliwie zawierającym etanol. Zatem w celu rozwiązania problemów technicznych związanych z efektywnym wykorzystaniem mieszanek etanolu z benzyną muszą zostać opracowane specjalne dodatki przeznaczone do takich paliw.

## Podziękowanie

Artykuł powstał na podstawie realizowanego w INiG w latach 2013-2015 projektu w ramach programu Polsko-Norweskiej Współpracy Badawczej, nr Pol-Nor/199100/6/2013; „Influence of bioethanol fuels treatment for operational performance, ecological properties and GHG emissions of spark ignition engine”



## Bibliography/Literatura

- [1] Document of U.S. Department of Energy – Energy Policy Act of 1992 (EPAAct).
- [2] Handbook for handling, Storing and Dispensing E85, U.S. Department of Energy, April 2002.
- [3] Summary of the study of E85 Fuel in the USA, CRC Report No. E-79-2; Winter 2006-2007, May 2007, <http://www.crcao.org/reports/recentstudies2007/E-79-2/E-79-2%20E85%20Summary%20Report%202007.pdf> - dostęp 05.02.2014
- [4] National Survey of E85 Quality, CRC Report No. E-85; November 2009 [www.crcao.org/reports/recentstudies2009/E-85/E-85%20Final%20Report%20\\_120609\\_.pdf](http://www.crcao.org/reports/recentstudies2009/E-85/E-85%20Final%20Report%20_120609_.pdf) - dostęp 05.02.2014
- [5] Szwarc A.: Use of bio-fuels in Brazil; Consultant Ministry of Science and Technology In-Session Workshop on Mitigation; SBSTA21 / COP10; 9.12.2004 Buenos Aires; [unfccc.int/files/meetings/cop\\_10/in\\_session\\_workshops/mitigation/application/pdf/041209szwarcusebiofuels\\_in\\_brazil.pdf](http://unfccc.int/files/meetings/cop_10/in_session_workshops/mitigation/application/pdf/041209szwarcusebiofuels_in_brazil.pdf) - dostęp 05.02.2014
- [6] Brazil Temporarily Reduces Ethanol Content in Gasoline from 25% to 20%; [www.greencarcongress.com/2010/01/brazil-20100113.html](http://www.greencarcongress.com/2010/01/brazil-20100113.html) - dostęp 05.02.2014
- [7] Japan and Brazil Cooperating to Promote Ethanol Use; [www.greencarcongress.com/2005/05/japan\\_and\\_brazi.html](http://www.greencarcongress.com/2005/05/japan_and_brazi.html) - dostęp 05.02.2014
- [8] Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 april 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC (RED).
- [9] Directive 2009/30/EC of the European Parliament and of the Council of 23 april 2009 amending Directive 98/70/EC as regards the specification of petrol, diesel and gas-oil and introducing a mechanism to monitor and reduce greenhouse gas emissions and amending Council Directive 1999/32/EC as regards the specification of fuel used by inland waterway vessels and repealing Directive 93/12/EEC (FQD).
- [10] Bringing biofuels on the market, CE Delft, Committed to the Environment, July 2013 - dostęp z [www.cedelft.eu](http://www.cedelft.eu) 12/09/13
- [11] CWA 15293:2005 – Automotive fuels – Ethanol E85 – Requirements and test methods.
- [12] CEN/TS 15293:2011 – Automotive fuels – Ethanol (E85) automotive fuel – Requirements and test methods.
- [13] Available FFV Models. Available FFV brands (beginning of 2009) <http://www.best-europe.org/Pages/ContentPage.aspx?id=589> - dostęp 05.02.2014
- [14] [http://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_flexible-fuel\\_vehicles\\_by\\_car\\_manufacturer](http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_flexible-fuel_vehicles_by_car_manufacturer) - access on 14.01.2014
- [15] Directive 98/69/EC of the European Parliament and of the Council of 13 october 1998 relating to measures to be taken against air pollution by emissions from motor vehicles and amending Council Directive 70/220/EEC
- [16] Regulation (EC) No 443/2009 of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 setting emission performance standards for new passenger cars as part of the Community's integrated approach to reduce CO<sub>2</sub> emissions from light-duty vehicles Text with EEA relevance.
- [17] ACEA STATEMENT: Agreement on 2020 CO<sub>2</sub> targets for cars; [http://www.acea.be/news/news\\_detail/acea\\_statement\\_agreement\\_on\\_2020\\_co2\\_targets\\_for\\_cars/](http://www.acea.be/news/news_detail/acea_statement_agreement_on_2020_co2_targets_for_cars/) - dostęp 24.01.2014.
- [18] European Automobile Industry Report 09/10, ACEA, [www.acea.be](http://www.acea.be) - dostęp 24.01.2014
- [19] Review of fuel ethanol impacts on local air quality; May 2008, London BEST Deliverable No D9.1; [http://www.best-europe.org/upload/BEST\\_documents/info\\_documents/Best%20reports%20etc/D9.14%20-%20Review%20of%20Ethanol%20Fuel%20Impacts%20on%20Local%20Air%20Quality\\_080516.pdf](http://www.best-europe.org/upload/BEST_documents/info_documents/Best%20reports%20etc/D9.14%20-%20Review%20of%20Ethanol%20Fuel%20Impacts%20on%20Local%20Air%20Quality_080516.pdf) - dostęp 24.01.2014
- [20] Ethanol Vehicle Emissions; [www.afdc.energy.gov/vehicles/flexible\\_fuel\\_emissions.html](http://www.afdc.energy.gov/vehicles/flexible_fuel_emissions.html) - dostęp 24.01.2014
- [21] Haskew H.M., Liberty T.F., McClement: FUEL PERMEATION FROM AUTOMOTIVE SYSTEMS: E0, E6, E10, E20 AND E85; Final Report CRC Project No. E-65-3; December, 2006; [www.afdc.energy.gov/vehicles/flexible\\_fuel\\_emissions.html](http://www.afdc.energy.gov/vehicles/flexible_fuel_emissions.html) - access on 21.01.2014
- [22] Setting a Quality Standard for Fuel Ethanol; DEH Ethanol Standard 18/2004 Report; International Fuel Quality Center; [www.environment.gov.au/archive/fuelquality/publications/pubs/ifqc-report.pdf](http://www.environment.gov.au/archive/fuelquality/publications/pubs/ifqc-report.pdf) - dostęp 26.01.2014.
- [23] Yanowitz J., McCormick R.L.: Effect of E85 on Tailpipe Emissions from Light-Duty Vehicles; Journal of the Air & Waste Management Association, February 2009.
- [24] Emissions and experiences with E85 converted cars in the BEST project; TREN/05/FP6EN/S07.53807/019854; March 2010, Växjö, Sweden BEST Deliverable No D1.20; [http://www.best-europe.org/upload/BEST\\_documents/info\\_documents/Best%20reports%20etc/D1.20\\_Emissions\\_and\\_experiences\\_with\\_E85\\_converted\\_cars\\_incl\\_app\\_5\\_100121.pdf](http://www.best-europe.org/upload/BEST_documents/info_documents/Best%20reports%20etc/D1.20_Emissions_and_experiences_with_E85_converted_cars_incl_app_5_100121.pdf) - dostęp 03.02.2014.
- [25] Life Cycle Emissions, [www.afdc.energy.gov/afdc/vehicles/emissions\\_e85.html](http://www.afdc.energy.gov/afdc/vehicles/emissions_e85.html); - dostęp 03.02.2014
- [26] Bergström K., Melin S-A., Coleman J.: The New ECOTEC Turbo BioPower Engine from GM Powertrain – Utilizing the Power of Nature's resources; 28th Internationales Wiener Motorensymposium 2007.
- [27] Grant L.J., Mason R.L.: SwRI-BMW N.A. Intake Valve Deposit Test – A Statistical Review; SAE Paper No. 922215.
- [28] Polityka energetyczna Polski do 2030 roku, Ministerstwo Gospodarki, Załącznik do uchwały nr 202/2009 Rady Ministrów z dn. 10 listopada 2009.
- [29] Realizowany w INiG w latach 2013-2015 projekt w ramach programu Polsko-Norweskiej Współpracy Badawczej, nr Pol-Nor/199100/6/2013; „Influence of bioethanol fuels treatment for operational performance, ecological properties and GHG emissions of spark ignitron engine”

Martynika Pałuchowska, DEng. – Leader direction: Fuels for spark ignition engines, National Research Institute in Cracow.

*Dr inż. Martynika Pałuchowska – Lider kierunku: Paliwa do silników o zapłonie iskrowym, Państwowy Instytut Badawczy w Krakowie.*

e-mail: [martynika.paluchowska@inig.pl](mailto:martynika.paluchowska@inig.pl)



Zbigniew Stępień, DEng. – Manager of Engine and Tribology Tests Laboratory – National Research Institute in Cracow.

*Dr inż. Zbigniew Stępień – Kierownik Laboratorium Badań Silnikowych i Trybologicznych, Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy w Krakowie.*

e-mail: [stepien@inig.pl](mailto:stepien@inig.pl)



Grażyna Żak, PhD. – Technology of Additives Laboratory Supervisor, Oil and Gas Institute in Cracow.

*Dr Grażyna Żak – Kierownik Laboratorium Technologii Dodatków, Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy w Krakowie.*

e-mail: [zak@inig.pl](mailto:zak@inig.pl)

