

Francisco V. TINAUT*
Andrés MELGAR
Yolanda BRICEÑO
Alfonso HERRILLO

Wyniki zastosowania paliw pochodzenia roślinnego do zasilania pojazdów z silnikami o zapłonie samoczynnym

Alternatywne paliwa odnawialne zyskują obecnie coraz większe znaczenie ze względu na wzrost cen ropy naftowej, ochronę środowiska (emisja gazów cieplarnianych i zanieczyszczeń), a w niektórych regionach także z uwagi na pomoc w utrzymaniu produkcji rolniczej (pierwotnie zorientowanej na produkcję żywności). Przedstawiane opracowanie zawiera wyniki badań uzyskane przez autorów w zakresie właściwości i parametrów eksploatacyjnych estrów metylowych kwasów tłuszczowych oleju słonecznikowego. Wykonane badania obejmowały: pomiary na hamowni silnikowej, pomiary na hamowni podwozowej w teście europejskim UDC+EUDC, a także badania długoterwale samochodów osobowych oraz autobusów miejskich komunikacji publicznej. Wyniki badań wykazały korzystne skutki zastosowania pochodnych oleju słonecznikowego w zakresie emisji szkodliwych składników spalin, przy jednoczesnym niewielkim pogorszeniu takich wskaźników jak moc i zużycie paliwa. Mieszanki estrów metylowych kwasów tłuszczowych oleju słonecznikowego i oleju napędowego, w szczególności te zawierające mniej niż 20% estrów posiadają odpowiednie właściwości do zastosowania ich jako paliwa w silnikach o zapłonie samoczynnym, bez potrzeby ich modyfikacji.

Badania na stanowisku hamownianym potwierdzają ogólne tendencje i wyniki innych badań. Ze względu na niższą wartość opałową estrów metylowych występuje obniżenie maksymalnej mocy i momentu obrotowego silnika z jednoczesnym wzrostem zużycia paliwa (do 16% dla czystych estrów metylowych). Emisja CO i HC była zmniejszona dla czystych estrów metylowych i paliw z ich dużą zawartością, podczas gdy przy niewielkim ich udziale obserwowano niewielki wzrost emisji przy małej prędkości obrotowej silnika. Wraz ze wzrostem zawartości estrów metylowych w paliwie emisja NO_x wykazała bardzo nieznaczny trend wzrostowy.

Podobne tendencje stwierdzono w badaniach dwóch samochodów osobowych w teście europejskim. Badania długoterwale samochodu osobowego dla przebiegu 80000 km przeprowadzono dla paliwa zawierającego 10% estrów metylowych oleju rzepakowego. Nie stwierdzono żadnych problemów z olejem smarującym, otwieraniem się iglic wtryskiwaczy, zużyciem paliwa i filtrami paliwa. Wszystkie wyniki były zgodne z wynikami badań tego samego pojazdu napędzanego czystym olejem napędowym. Ogólnie można stwierdzić, że na obecnym poziomie technicznym nie ma większych przeszkód ograniczających rozwój estrów metylowych jako biopaliwa stosowane do silników o zapłonie samoczynnym.

Słowa kluczowe: silniki spalinowe o ZS, paliwa alternatywne, estry metylowe, emisja, wskaźniki pracy

Performance of vegetable derived fuels in diesel engine vehicles

Alternative renewable fuels are more and more important due to increasing of oil prices, environmental concern (greenhouse and other pollutant gases) and, in some regions, their potential to help to conserve agricultural activity (previously aimed to food destination). For the case of vegetable oils several possibilities can be considered, such as mixtures of diesel fuel with both raw oil and oil-derived methyl-esters, where mixture proportions range between zero (pure diesel fuel) and 100% (pure alternative fuel). A third possibility is the use of mixtures of bio-ethanol (obtained from sugar or starch crops) and diesel fuel (e-diesel). Detailed results are presented relative to sunflower methyl-ester performance in engines (test bench), car vehicles (European test cycle) and endurance road tests for car vehicles and urban buses. These results show a favourable trend in the use of sunflower oil derived fuels in terms of emissions, with minor deterioration of power and fuel consumption. The trend is even more favourable if other aspects are considered such as positive energy balance of methyl-esters, relative simplicity of the transformation process, compatibility with the present diesel engine and car technology, possibility to deliver the alternative fuel through established automotive fuels distribution networks, etc. The main results of the presented tests can be summarised as follows:

The mixtures of sunflower oil methyl diesel and diesel fuel, and especially those with less than 20% of ester, present perfectly valid properties and characteristics for their use in diesel engines without the need of modification. The current specification for Diesel fuel, EN 590, allows the presence of up to 5% of methyl ester, while, according to the authors results, this amount could be increased without consequences up to 20%.

The results in engine test rigs confirm the general trends or other results. There is a reduction of full load power and torque, due to a lower heating value methyl esters, in accordance with an increase in fuel consumption (up to 16% for pure methyl ester). CO and HC are reduced for pure methyl ester and high contents of this, in spite of the fact that a moderate increase was observed for small contents of methyl ester at low engine rpm. NO_x emissions show a very weak trend to increase as methyl ester content increases.

The results obtained in two passenger cars running a European Driving Cycle presented the same trends.

The endurance test covered 80,000 km in a passenger car with a fuel containing 10% of sunflower methyl ester. No problem was detected in lubricant, injection valve choking, fuel consumption and fuel filters. All the results were in accordance with it is expected for the same car running with pure diesel fuel.

Key words: methyl-esters, alternative fuels, diesel engines, engine performance, emissions

Wprowadzenie

Zastąpienie paliw kopalnych biopaliwami w sektorze transportowym oferuje wiele istotnych korzyści: stanowią one źródło alternatywnej energii, a pochodząc ze źródeł odnawialnych sprzyjają ochronie środowiska oraz generują miejsca pracy i przychody, zwłaszcza w sektorze rolniczym.

Pod względem przeznaczenia do danego rodzaju silnika biopaliwa można sklasyfikować jako: bio-alkohol i jego pochodne w postaci eterów do silników o zapłonie iskrowym (ZI) oraz oleje roślinne i ich pochodne w postaci estrów do silników o zapłonie samoczynnym (ZS). Największy rozwój biopaliw w Europie w ostatnich latach dotyczył tych, które są najbardziej podobne pod względem właściwości do swoich konwencjonalnych odpowiedników. Są to: komponent benzyn – eter etylo-tertbutylowy (ETBE), zamiennik eteru metylo-tertbutylowego (MTBE) oraz estry metylowe kwasów tłuszczowych olejów roślinnych (tzw. biodiesel), samodzielnie lub w mieszaninach z olejem napędowym (ON) w dowolnych proporcjach. Niekiedy wymieniane są również estry etylowe, w skład których wchodzi więcej składników odnawialnych niż w przypadku estrów metylowych. W celu promocji stosowania biopaliw Parlament i Rada Europy przyjęły Dyrektywę Europejską 2003/30/EC. Dotyczy ona wymienionych wcześniej biopaliw oraz kilku innych. Zaskakuje jednak, że dyrektywa nie wspomina o estrach etylowych, a pod pojęciem „biodiesel” rozumiane jest tylko paliwo zawierające estry metylowe kwasów tłuszczowych. Paliwo to skrótowo nazywane jest FAME (*Fatty Acid Methyl Esters*).

Estry metylowe FAME są otrzymywane z olejów roślinnych lub z tłuszczu zwierzęcych w reakcji trójglicerydów z metanolem podczas procesu zwanego transestryfikacją. Zastosowanie FAME do zasilania silników ZS rozwiązuje większość problemów, które występują przy zastosowaniu jako paliwa bezpośrednio olejów roślinnych, a które wynikają z takich parametrów paliwa jak: lepkość, temperatura końca destylacji, liczba cetanowa, temperatura zablokowania zimnego filtra. Ponadto FAME charakteryzują się korzystniejszym bilansem energetycznym niż alkohole i ich pochodne – etery.

W wielu krajach UE prowadzone są badania silników i pojazdów zasilanych czystymi FAME (100%) lub różnymi mieszaninami FAME z konwencjonalnym ON. Celem badań jest sprawdzenie funkcjonowania silnika zasilanego FAME oraz porównanie korzyści występujących przy zasilaniu FAME i ON. Większość dostępnych w literaturze wyników odnosi się do estrów metylowych kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego lub sojowego [3]. Rozrzut ważniejszych wyników badań uzyskanych w różnych testach wykonanych w Austrii, Francji i Hiszpanii przedstawiono w tabeli 1 [4-7]. Tabela ta przedstawia średnią różnicę emisji (w %) dla porównawczego zasilania silnika 100% FAME i 100% ON. Przedstawiono również maksymalną i minimalną wartość różnicy występującej w analizowanych wynikach badań.

Introduction

The substitution of fossil fuels by biofuels in the transportation sector presents a series of important advantages, such as that they are a source of alternative energy, their renewable origin favours the conservation of the environment and finally they can generate employment and wealth, especially in the agricultural sector.

In function of the engine type biofuels can be classified in: Bio-alcohols and their derived ethers for use in gasoline-type engines, and vegetable oils and their derived esters for diesel engines. In Europe the biofuels that have had a bigger development in the last years have been those whose characteristics are more similar to those of the fuel that they substitute. These are Ethyl-Tertio-Butyl Ether (ETBE) as a substitute of Methyl-Tertio-Butyl Ether (MTBE) for the formulation of unleaded gasoline and the methyl esters of vegetable oils (biodiesel) alone or blended with diesel fuel in any proportion. Sometimes ethyl esters are mentioned since their renewable content is higher than that of methyl ester. The European Directive 2003/30/EC of the European Parliament and the Council is aimed to the promotion of use of biofuels and other renewable fuels for transport, covering the biofuels cited here and some other [1]. However, surprisingly ethyl esters are not included in the enumeration, since *biodiesel* is considered only to be constituted by methyl esters. An alternative name is FAME (fatty acid methyl esters).

Methyl esters are obtained from vegetable oils, or also from animal fats, by means of the reaction of the oils (triglycerides) with methanol in a process called transesterification. The use of the biodiesel (methyl esters) in diesel engines allows solving most part of the problems that originate with the raw vegetable oils as the viscosity, the final temperature of distillation, the Cetane Number and the POCF. In addition, oil esters have a better performance from the point of view of energy balance than the bioalcohols and their derived ethers which makes them more attractive [2].

In many countries of the European Union engine and vehicle tests have been carried out, using pure (100%) biodiesel or different mixtures with conventional diesel fuel. The purpose has been verifying the operation, in the diesel engines, of the methyl esters and comparing the benefits of these with those of the pure diesel fuel. Most of the available results in the scientific literature on the performance in

Tab. 1. Zestawienie wyników badań emisji z użyciem estrów metylowych kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego jako paliwa do silników ZS

Table 1. Summary of tests corresponding to the use of rapeseed oil methyl ester as fuel for diesel engines

| | CO | | HC | | NO _x | | Particles | |
|------------------------------------|----------|------|----------|-----|-----------------|------|-----------|-----|
| Difference relative to diesel fuel | dif. (%) | | dif. (%) | | dif. (%) | | dif. (%) | |
| Mean value of all tests | -12% | | -24% | | +7% | | -36% | |
| Minimum/Maximum value | -35% | +16% | -46% | -4% | -16% | +20% | -55% | +5% |

Znaczny rozrzut publikowanych wyników badań oraz ich niewielka ilość w odniesieniu do estrów metylowych kwasów tłuszczowych oleju słonecznikowego (EMKTOS) skłoniła autorów do podjęcia dokładnych badań właściwości tego paliwa. W Hiszpanii badania są prowadzone w odniesieniu do EMKTOS głównie dlatego, że z powodu właściwości klimatycznych i położenia geograficznego, uprawia się tu duże ilości słoneczników, a także występuje duża konsumpcja oleju słonecznikowego. W pracy przedstawiono wyniki prac autorów podzielone na cztery części: właściwości biopaliw jako paliw do silników ZS, badania na hamowni silnikowej, badania emisji szkodliwych składników spalin w teście UDC+EUDC oraz badania długotrwałe samochodów osobowych i miejskich autobusów.

Właściwości biopaliw jako paliw do silników o ZS

Zestawienie podstawowych właściwości paliw silnikowych: ON, oleju roślinnego (OR) oraz jego pochodnych – FAME przedstawiono w tabeli 2. Problemy, które występują przy bezpośrednim zastosowaniu OR w konwencjonalnych silnikach ZS wynikają przede wszystkim z dużej lepkości olejów (około 10 razy większa niż ON). Duża lepkość OR może powodować nieprawidłowości w pracy układu wtryskowego. Ma także – razem z wysoką temperaturą końca destylacji oleju – bardzo negatywny wpływ na proces rozpylenia paliwa wewnątrz komory spalania oraz tworzenia mieszanki palnej. Mieszanka paliwowo-powietrzna jest trudniej formowalna i znaczna część paliwa ulega rozkładowi jeszcze przed osiągnięciem temperatury wrzenia. W rezultacie tworzą się osady węglowe na rozpylaczach, w komorze spalania, na zaworach, tłoku itd. Prowadzi to do pogorszenia pracy silnika, a nawet jego uszkodzenia.

Innym problemem, który występuje w przypadku stosowania OR jest mała wartość liczby cetanowej. Wartość ta jest wystarczająca dla silników dużej mocy, natomiast jest zbyt niska dla wysokoobrotowych silników samochodowych. Kolejnym problemem jest wysoka temperatura zablokowania zimnego filtra niektórych OR, ograniczająca ich stosowanie do temperatury powyżej +10°C.

Tab. 2. Właściwości olejów roślinnych i ich pochodnych – estrów metylowych, w odniesieniu do właściwości oleju napędowego

Table 2. Characteristic properties of vegetable oils and their derived methyl esters compared to diesel fuel

| | Diesel fuel | Vegetable oil | Oil Methyl-Esters |
|---|-------------|---------------|-------------------|
| Density at 20°C [kg/m ³] | 840 | 910/930 | 870/890 |
| Viscosity at 40°C [Cst] | 3/4,5 | 25/35 | 3,5/4,5 |
| LHV[MJ/kg] | 43 | 35/38 | 36/39 |
| LHV [MJ/dm ³] | 36 | 32/35 | 32/34 |
| Cetane number | 48/51 | 30/40 | 49/54 |
| Point of obstruction of cold filter POCF [°C] | -20 | 10/20 | 0/-15 |
| Carbonaceous residue [%] | 0,1 | - | 0,25/0,42 |
| Inflammation point [°C] | 65 | - | 120/170 |
| Sulphur [% weights] | 0,05 | 0 | 0 |

diesel engines corresponds to methyl esters of rapeseed oil or soybean oil [3]. An important dispersion of the main results of the experiences is reported in different tests carried out in France, Austria and Spain ([4]-[7], as shown in Table 1. The Table shows the average of the difference of emissions (in %) when rapeseed oil methyl ester is used at a 100% as compared to the reference of the use of diesel fuel also at 100%. The minimum and maximum values of the difference of all available data are also included.

The strong dispersion of the published results and the fact that these are very scarce for sunflower oil methyl esters compelled the authors to carry out specific test to characterise this type of biodiesel. In Spain the studies are aimed towards sunflower oil methyl esters, mainly because, for climatic factors and geographical location, sunflower has a high production and there is also a high consumption of this type of oil for food. The paper presents the results of the authors work in four parts: Properties of biofuels as diesel engine fuels, performance in engine test rig, emissions in European Driving Cycle, and endurance tests in both passenger cars and urban buses.

Properties of biofuels as fuels for diesel engines

A summary of the main general characteristic properties as engine fuels of diesel fuel, vegetable oils and their derived methyl esters are presented in Table 2. The problems that presents the straight use of vegetable oils in conventional diesel engines come derived fundamentally from their viscosity (10 times higher than that of diesel fuels). The high viscosity of vegetable oils may cause problems in the injection system. This high viscosity, combined with an also high final boiling temperature of vegetable oils, presents a very negative influence on the mixture formation process and pulverisation of the liquid drops inside the combustion chamber. This makes that the air-fuel mixture is formed with more difficulties and most of the fuel breaks down before reaching the distillation temperature, as consequence they originate carbonaceous deposits in the injectors, combustion camera, piston, valves, etc. that may deteriorate the engine and difficult its operation.

Another problem that presents the use of vegetable oils in the combustion engines is their low value of the cetane number. This value could be acceptable in large diesel engines, but it is not in fast automotive engines. Finally, some vegetable oils have a point of obstruction of cold filter (POCF) high, which inhibits their use for ambient temperatures lower than +10°C.

The use of the methyl esters (biodiesel) in diesel engines allows solving a great part of the problems that originate with vegetable oils. Thus they present a viscosity smaller than that of the source vegetable oil and next to that of the diesel fuels, which implies some similar characteristics of the fuel spray in the process of mixture formation inside the combustion chamber of the engine. Also, the final temperature of distillation is lower. This increases the evapo-

Zastosowanie FAME jako paliwa rozwiązuje większość problemów, które występują podczas stosowania OR w czystej postaci. FAME charakteryzują się znacznie niższą lepkością niż OR; jest ona zbliżona do lepkości ON. W związku z tym charakterystyka rozpylenia FAME w komorze spalania jest bardzo podobna do charakterystyki rozpylenia ON. Ponadto temperatura końca destylacji FAME jest niższa niż OR, przez co wyższa jest szybkość parowania i dzięki temu rozkład FAME w komorze spalania jest mniejszy lub w ogóle nie następuje. Liczba cetanowa FAME jest podobna jak ON lub wyższa. Temperatura zablokowania zimnego filtra (POCF) jest wyraźnie niższa niż dla OR, co pozwala na stosowanie tego paliwa w niskich temperaturach.

Dokładniejsze zestawienie ważniejszych właściwości mieszanin EMKTOS i ON w różnych proporcjach przedstawiono w tabeli 3. Badania każdej z właściwości zostały wykonane w celu otrzymania kompletnej charakterystyki różnych mieszanin EMKTOS i ON w porównaniu do czystego ON. Analiza danych w tabeli 3 upoważnia do stwierdzenia, że EMKTOS wykazują duże podobieństwo pod względem właściwości do ON. Wszystkie właściwości EMKTOS mieszczą się w zakresie limitów parametrów ustalonych dla ON. Wyjątkiem są jedynie: gęstość i temperatura zablokowania zimnego filtra dla mieszanin, które zawierają powyżej 20% EMKTOS oraz pozostałość po koksowaniu dla 100% EMKTOS – wartości te wyróżniono podkreśleniem w tabeli 3.

ration rate, and in this way the decomposition of the esters inside the combustion chamber is smaller, or practically null. Cetane Number is the order of those of the diesel fuel and even higher. The POCF is lower than that of vegetable oils, which allows its use to lower temperatures than those.

A more detailed compendium of relevant properties of mixtures of sunflower oil methyl ester and diesel fuel with different proportions of ester is in Table 3 [8]. Tests for each property were carried out in order to have a complete characterisation of different blends of sunflower oil methyl ester compared to a reference non-additivated diesel fuel.

A detailed observation of the Table allows appreciating the great similarity that exists with the diesel fuel. All the properties of the mixtures are inside the limits established for the diesel fuel, except in the case of the density and the POCF for mixtures higher to 20% of methyl ester and the carbonaceous residue of the pure ester (100%) – conditions marked in red and underlined in the Table 3.

It should be noted that the present European specification of diesel fuel, EN 590, allows a 5% of fatty acid methyl esters. For higher biodiesel contents the reference specification is EN 14214:2003.

Performance of sunflower methyl esters in engine test rig

The performance of sunflower oil methyl ester has been studied in an indirect injection diesel engine (PSA XUD9,

Tab. 3. Właściwości mieszanin ON i EMKTOS

Table 3. Characteristic properties of different mixtures of diesel fuel (ref.) and sunflower oil methyl ester (biodiesel)

| Property | ASTM Std. | Units | Min. | Max. | 0% (ref.) | 5% bio. | 10% bio. | 20% bio. | 50% bio. | 100% bio. |
|--------------------------|-----------|--------------------|-------|-------|-----------|---------|----------|----------|---------------|---------------|
| Density | D-4052 | kg/l | 0.825 | 0.860 | 0.8486 | 0.8504 | 0.8521 | 0.8557 | <u>0.8667</u> | <u>0.8854</u> |
| Viscosity | D-445 | mm ² /s | 2 | 4.5 | 3.004 | 3.050 | 3.098 | 3.199 | 3.544 | 4.133 |
| HHV | D-240 | MJ/kg | 43.96 | - | 45.44 | 45.18 | 44.84 | 44.13 | 42.51 | 39.79 |
| LHV | D-240 | MJ/kg | - | - | 42.74 | 42.52 | 42.20 | 41.49 | 39.97 | 37.39 |
| Cetane Number | D-613 | - | 49 | - | 49.6 | - | 50.3 | - | 53.0 | 53.9 |
| Inflammation Point | D-93 | °C | 55 | - | 69.5 | 69.5 | 70.5 | 71.5 | 81.5 | 169 |
| Ramsbottom Carbon | D-524 | % of 10% | - | 0.2 | 0.07 | 0.08 | 0.12 | 0.12 | 0.18 | <u>0.35</u> |
| 65%Distilled | D-86 | °C | 250 | - | 302 | 306 | 312 | 321 | 334 | 340 |
| 85%Distilled | D-86 | °C | - | 350 | 336 | 338 | 339 | 341 | 342 | 344 |
| Final Distillation Point | D-86 | °C | - | 380 | 376 | 375 | 372 | 369 | 359 | 348 |
| Sulphur | D-4294 | % weight | - | 0.2 | 0.19 | 0.18 | 0.16 | 0.16 | 0.10 | 0.04 |
| Cloud Point | D-2500 | °C | - | -1 | -1 | -1 | 0 | 0 | 1 | 3 |
| POCF | IP-309 | °C | - | -10/0 | -17 | -15 | -16 | -15 | <u>-9</u> | <u>-2</u> |
| Cu Corrosion | D-130 | - | - | 1B | 1A | 1A | 1A | 1A | 1A | 1B |
| Sediments and water | D-2709 | % vol. | - | 0.1 | <0.005 | <0.005 | <0.005 | <0.005 | <0.005 | <0.005 |
| Ash contents | D-482 | % weight | - | 0.01 | 0.002 | <0.001 | <0.001 | 0.002 | <0.001 | <0.001 |
| Acidity Index | D-664 | mg KOH/g | - | 0.2 | <0.05 | <0.05 | <0.05 | <0.05 | 0.063 | 0.088 |
| Water tolerance | D-1094 | % | - | - | 0 | 0.5 | 1 | 1.5 | 1.5 | 2.5 |

Należy zauważyć, że aktualna specyfikacja europejska – norma EN 590 dopuszcza do 5% zawartości FAME w ON. Dla większych zawartości FAME odpowiednia jest specyfikacja określona w Normie Europejskiej EN 14214:2003.

Badania estrów metylowych kwasów tłuszczowych oleju słonecznikowego na hamowni silnikowej

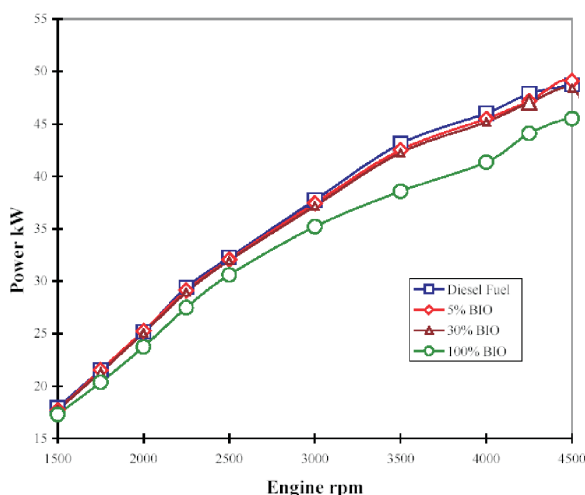
Właściwości EMKTOS były badane w silniku ZS o wtrysku pośrednim IDI, niedoładowanym, typu PSA XUD9 o pojemności skokowej 1,9 dm³. Wybór takiego silnika do badań był związany z tym, że jest to silnik wzorcowy przewidziany do określania skłonności paliwa do zanieczyszczenia rozpylaczy. Badano kilka wariantów mieszanin EMKTOS i ON zawierających od 0, 5, 30 i 100% EMKTOS. Mierzono następujące parametry pracy silnika: moc, zużycia paliwa oraz emisję: CO, HC NO_x i CO₂. Pomiary wykonywane były w warunkach pełnego obciążenia (pełne wysunięcie listwy pompy wtryskowej) oraz przy 50% obciążenia maksymalnego.

Pomiary prowadzone były przy stałej prędkości obrotowej silnika oraz przy stałych pozostałych parametrach silnika, takich jak: temperatura cieczy chłodzącej na wlocie i wylocie, temperatura oleju silnikowego, temperatura powietrza dolotowego, temperatura paliwa, temperatura spalin, ciśnienie cieczy chłodzącej i oleju, przeciwcisnienie w układzie wylotowym oraz ciśnienie atmosferyczne.

Wyniki pomiarów przedstawiono na rysunkach 1-6.

Główne spostrzeżenia z analizy otrzymanych wyników są następujące: moc i moment rozwijane przez silnik są w niewielkim stopniu zmniejszone dla paliw zawierających EMKTOS, przy czym istotne zmniejszenie o 7% następuje dopiero dla 100% EMKTOS.

Średnie jednostkowe zużycie paliwa jest bardzo podobne dla czystego ON i mieszaniny zawierającej 5% EMKTOS, rośnie natomiast dla mieszaniny zawierającej 30% EMKTOS (o 6%), a dla czystych EMKTOS jest większe już o 16%.



Rys. 1. Krzywa mocy (kW) w warunkach charakterystyki zewnętrznej silnika PSA XUD-9 zasilanego paliwami o różnej zawartości biokomponentu

Fig. 1. Plots of full load power (kW) in engine PSA XUD-9 with different biofuel proportions

1.9 l of cylinder capacity and naturally aspirated). The choice of this engine is due to the fact that it is the engine prescribed for the injection valve choking tests (CEC PF 023). Several combinations of diesel fuel with 0% (reference) and 5%, 30% and 100% methyl ester mixtures were tested, and the values of engine power, fuel consumption and emissions (CO, unburned hydrocarbons, NO_x and CO₂) in each case are analysed. All the tests were carried out with a load rate of 100% (injection pump lever at its maximum position) and also at a 50% of maximum load.

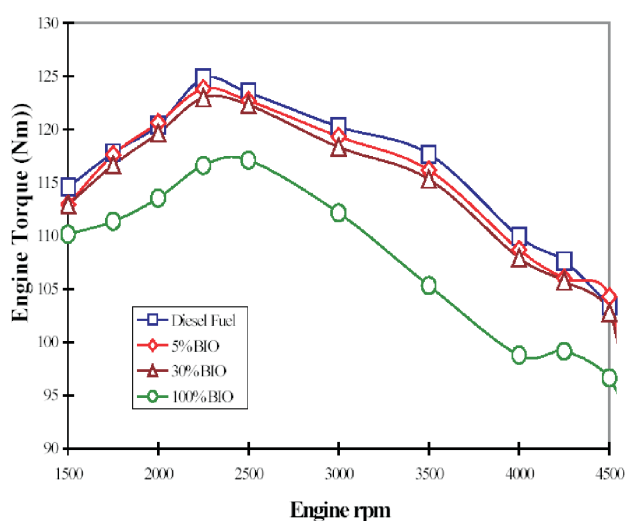
The tests were carried out with stabilised engine rpm as well as the rest of operating conditions, such as coolant temperature at the input and output, lubricant temperature, intake air temperature, fuel temperature, exhaust gases temperature, coolant and lubricant pressure, exhaust back pressure and atmospheric pressure.

The results of these tests are presented in the Figures 1 at 6.

The general comments that can be stated from the analysis of the presented results are: The power and torque provided by the engine have a slight decrease as compared with the values corresponding to diesel fuel for the mixtures with 5% and 30% of methyl ester. The decrease becomes important (of the order of 7%) for the pure methyl ester (100%).

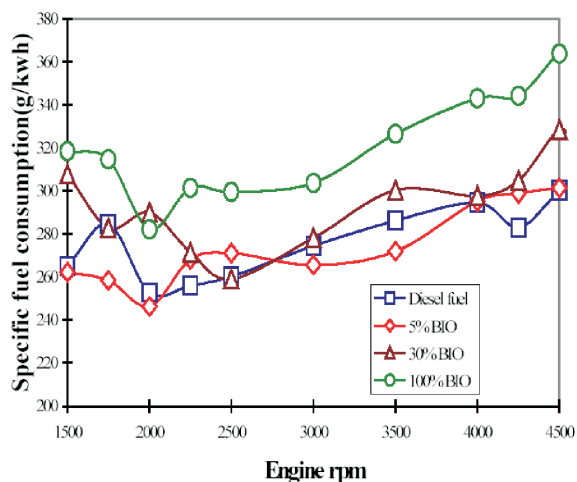
The averaged value of specific consumption is very similar to that of the diesel fuel in the mixture of 5%, while it is increased in the cases of 30% (+6%) and 100% (+16%). This is consequence first of all of the smaller heating value on a per mass basis of methyl esters as compared to diesel fuel (-8.7% for pure methyl ester), although other effects accumulate with this primary cause.

The emissions of CO are increased with the mixture of 5% while they decrease with those of 30% and 100% (20% decrease in this limit case). This anomalous behaviour can not easily explained, but in fact appeared again in the results corresponding to the European Cycle tests (see next chapter) and thus can not attributed to experimental errors.



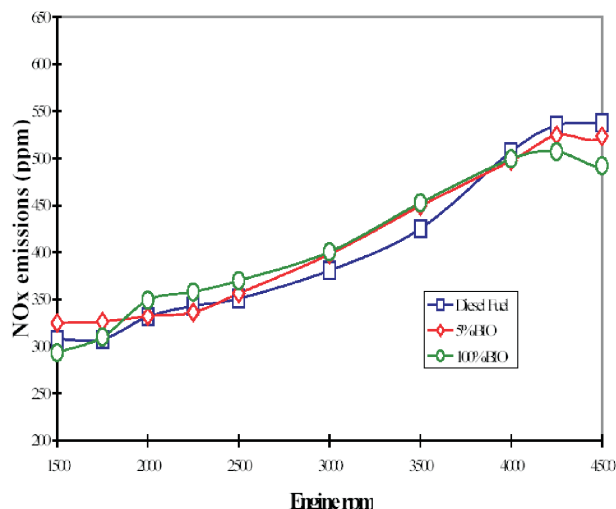
Rys. 2. Krzywa momentu obrotowego (Nm) w warunkach charakterystyki zewnętrznej silnika PSA XUD-9 zasilanego paliwami o różnej zawartości biokomponentu

Fig. 2. Plots of full load torque (Nm) in engine PSA XUD-9, with different biofuel proportions



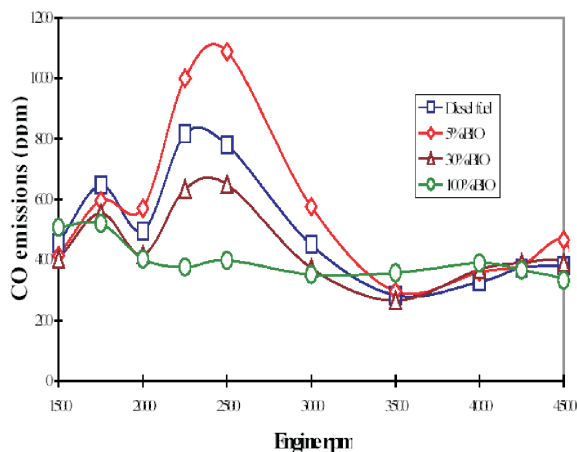
Rys. 3. Krzywa jednostkowego zużycia paliwa (g/kWh) w warunkach charakterystyki zewnętrznej silnika PSA XUD-9 zasilanego paliwami o różnej zawartości biokomponentu

Fig. 3. Plots of full load specific fuel consumption (g/kWh) in engine PSA XUD-9, with different biofuel



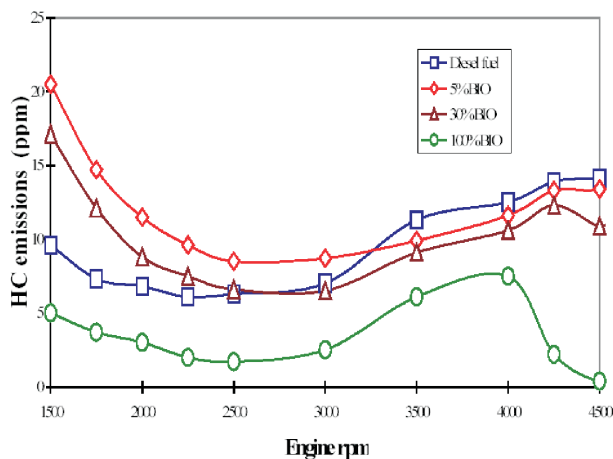
Rys. 4. Krzywa stężenia NO_x (ppm) w spalinach w warunkach charakterystyki zewnętrznej silnika PSA XUD-9 zasilanego paliwami o różnej zawartości biokomponentu

Fig. 4. NO_x emissions (ppm) for full load in engine PSA XUD-9, with different biofuel proportions, proportions



Rys. 5. Krzywa stężenia CO (ppm) w spalinach w warunkach charakterystyki zewnętrznej silnika PSA XUD-9 zasilanego paliwami o różnej zawartości biokomponentu

Fig. 5. CO emissions (ppm) for full load in engine PSA XUD-9, with different bio fuel proportions



Rys. 6. Krzywa stężenia HC (ppm) w spalinach w warunkach charakterystyki zewnętrznej silnika PSA XUD-9 zasilanego paliwami o różnej zawartości biokomponentu

Fig. 6. HC emissions (ppm) for full load in engine PSA XUD-9, with different bio fuel proportions

Wynika to przede wszystkim z niższej o około 8,7% wartości opałowej (MJ/kg) EMKTOS w porównaniu do ON.

Emisja CO zwiększyła się dla mieszanin zawierających 5% EMKTOS, natomiast zmniejszyła się dla mieszanin zawierających 30% i 100% (dla tego ostatniego paliwa o 20%). To nieregularne zachowanie emisji CO nie ma prostego wyjaśnienia; ponieważ tendencja taka wystąpiła również podczas badań na hamowni podwozowej, nie można go uznać za błąd pomiarowy. Niewielki wzrost emisji HC występuje dla mieszanin zawierających 5 i 30% EMKTOS, natomiast znacznie zmniejsza się (do 65%) ta emisja dla czystych EMKTOS. Emisja NO_x pozostaje na praktycznie tym samym poziomie co dla ON z nieznaczną tendencją wzrostową. Emisja CO_2 (nie przedstawiona na rysunkach) dla wszystkich mieszanin EMKTOS była we wszystkich przypadkach bardzo podobna jak dla czystego ON.

A slight increase is appreciated in the emissions of unburned HC with the mixtures of 5% and 30% of methyl ester. The emissions decrease very much (until 65%) with pure methyl ester. The emissions of NO_x remain practically at the same level than that of diesel fuel, with a slight trend to increase. The emissions of CO_2 (not plotted) were very similar to the diesel fuel in all cases.

Emission tests in european driving cycle

The second types of test performed to characterise the behaviour of sunflower methyl esters were in a European Driving Cycle Test. The emissions test was carried out with different biodiesel mixtures in two vehicles in the urban-interurban cycle (MVEG), in accordance with the Directive 93/59/CEE, revision 1. The pollutants analysed are carbon

Badania emisji w europejskim teście jezdnym

Drugim typem badań EMKTOS były europejskie testy jezdne UDC+EUDC (MVEG). W badaniach używano dwa samochody: Renault Laguna z silnikiem o pojemności 2,1 dm³ (oznaczony literą A) oraz Renault 19 z silnikiem o pojemności 1,9 dm³ (oznaczony literą B). Badania wykonano przy różnych składach mieszanin. Mierzono emisję CO, HC, NO_x i PM. Uzyskane wyniki, wyrażone w g/km, przedstawiono na rysunkach 7–10. Na rysunku 11 przedstawiono uśrednione dla obu pojazdów zmiany procentowe emisji każdego z mierzonych składników toksycznych w stosunku do wyników wzorcowych uzyskanych dla czystego ON. W tabeli 4 zamieszczono uśrednione dla obu pojazdów zestawienie wyników końcowych.

Uzyskane wyniki nasuwają następujące spostrzeżenia:

W zakresie emisji CO wystąpiła wyraźna redukcja (do 22%) dla mieszanin zawierających powyżej 15% EMKTOS. Przy za-

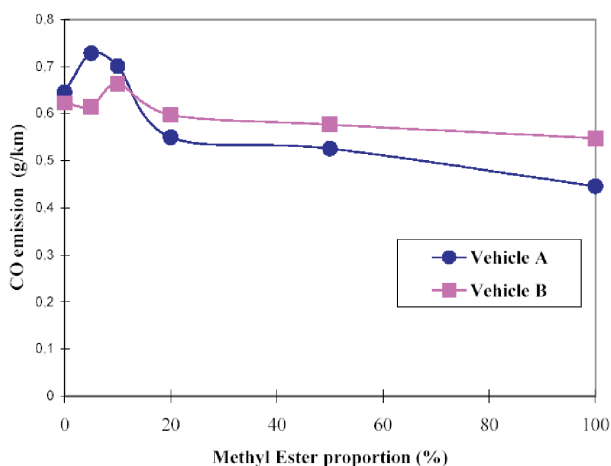
monoxide (CO), unburned hydrocarbons (HC), nitrogen oxides (NO_x) and particles.

The obtained results, expressed in g/km, are shown in figures 7 to 10. The vehicle A it is a Renault Laguna 2. 1D, while the vehicle B is a Renault 19 1.9D. Figure 11 indicates the variation of emissions of each one of the pollutants expressed in % (average of both vehicles) with respect to the reference conditions with diesel fuel.

Table 4 shows a summary of the main results, averaged for both vehicles.

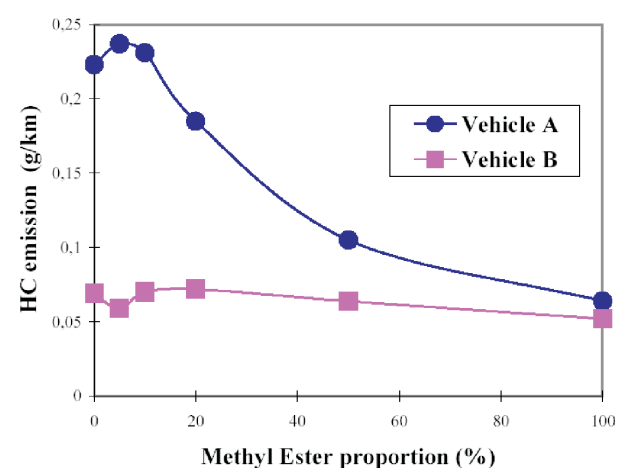
The comments that can be stated from the analysis of previous results are:

Regarding the CO emissions, an important decrease is appreciated (up to about 22%) for biodiesel proportions higher than 15%. The opposite trend can be seen for lower methyl ester contents (5 and 10%) for which CO emissions are slightly increased.



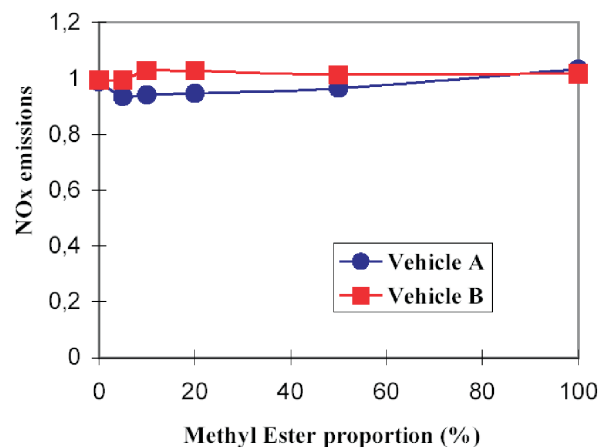
Rys. 7. Emisja CO (g/km) w cyklu europejskim przy zasilaniu różnymi mieszaninami ON i EMKTOS

Fig. 7. CO emissions (g/km) in European Cycle using mixtures of sunflower methyl ester and diesel fuel in different proportions



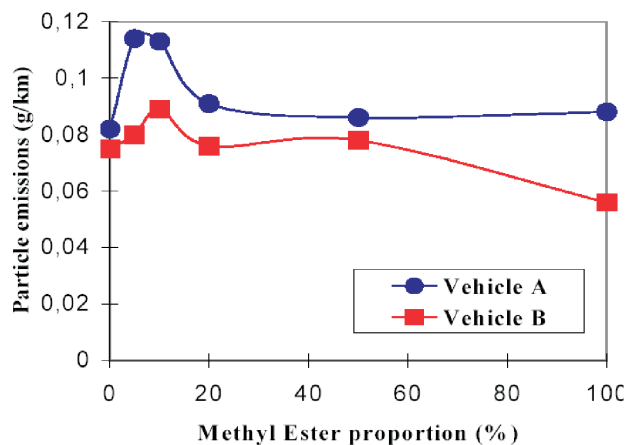
Rys. 8. Emisja HC (g/km) w cyklu europejskim przy zasilaniu różnymi mieszaninami ON i EMKTOS

Fig. 8. HC emissions (g/km) in European Cycle using mixtures of sunflower methyl ester and diesel fuel in different proportions



Rys. 9. Emisja NO_x (g/km) w cyklu europejskim przy zasilaniu różnymi mieszaninami ON i EMKTOS

Fig. 9. NO_x emissions (g/km) in European Cycle using mixtures of sunflower methyl ester and diesel fuel in different proportions



Rys. 10. Emisja czstek stałych (g/km) w cyklu europejskim przy zasilaniu różnymi mieszaninami ON i EMKTOS

Fig. 10. Particle emissions (g/km) in European Cycle using mixtures of sunflower methyl ester and diesel fuel in different proportions

wartości mniejszej (5 lub 10%) uzyskano przeciwny trend, tj. dodatek EMKTOS powodował niewielki wzrost emisji CO.

Emisja HC po dodaniu EMKTOS zmniejsza się. Przy zawartości powyżej 15% redukcja jest w przybliżeniu proporcjonalna do zawartości EMKTOS. Emisja NO_x dla mieszanin zawierających EMKTOS była podobna jak przy czystym ON z lekkim trendem wzrostowym w miarę zwiększania zawartości EMKTOS w paliwie. Przebieg sumarycznej emisji HC+ NO_x zbliżony był do przebiegu emisji HC.

Podobnie jak dla emisji CO, również dla emisji PM najmniej korzystnym paliwem okazała się mieszanina zawierająca 5-10% EMKTOS, dla której zanotowano wzrost emisji PM nawet do 30%. Mieszaniny zawierające powyżej 50% EMKTOS zapewniały niewielką redukcję emisji PM. Stąd też najniższą emisję PM uzyskano dla czystych EMKTOS.

Badania długotrwałe samochodów osobowych

Głównym celem tych badań było określenie, czy ciągłe używanie mieszanin EMKTOS i ON może wywierać znaczący wpływ na istotne elementy silnika. W badaniach użyto samochodu Renault Laguna 2.1, który w czasie badań wykonał przebieg 80000 km i zasilany był w tym czasie mieszaniną 10% EMKTOS i 90% ON. Badania zostały pomyślane w taki sposób, aby określić najbardziej wyraźne zależności oraz uzyskać niezbędne dane do zaprojektowania innych, bardziej złożonych badań długotrwałych.

Okresowe kontrole i przeglądy w czasie badań długotrwałych obejmowały:

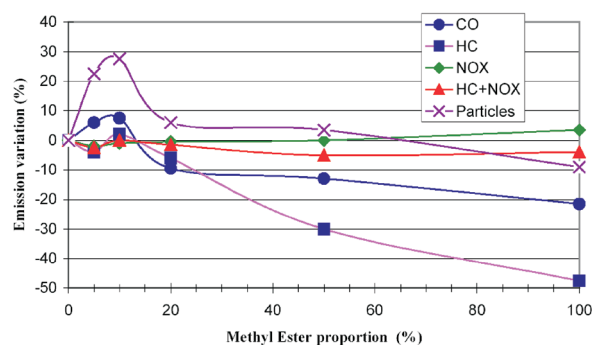
- a) Stan oleju silnikowego. Pierwsze trzy wymiany oleju były wykonane przy przebiegu 7500, 15000 i 22500 km. Badano następujące właściwości zużytego oleju: lepkość w temperaturze 40 i 100°C, zawartość wody, test płamowy (na bibule), liczba kwasowa i zasadowa, zawartość metali metodą spektrofotometrii, zawartość cząstek stałych, zawartość frakcji nierozpuszczalnych w pentanie i toluenie oraz zanieczyszczenie oleju paliwem. Jakość oleju była bardzo dobra we wszystkich analizowanych próbkach; nie zanotowano nadmiernego pogorszenia właściwości oleju. Na tej podstawie stwierdzono, że w dalszej części badań można zwiększyć przebieg między wymianami oleju do 15000 km i następne wymiany miały miejsce przy 37500 i 52500 km. Wszystkie analizowane parametry były nadal poprawne, choć niektóre z nich – wskaźnik zanieczyszczenia i zdolność dyspersyjna – były na granicy limitu. W związku z tym ostatecznie zdecydowano by określić okres między

Tab. 4. Średnia dla dwu samochodów osobowych emisja składników toksycznych w europejskim teście jezdnym, przy zastosowaniu jako paliwa mieszanin ON i EMKTOS

Table 4. Global results of the European Emission Test Cycle for two passenger cars with sunflower oil methyl ester fuel compared to diesel fuel

| | CO | | HC | | NO_x | | Particles | |
|-------------------|-------|----------|-------|----------|---------------|----------|-----------|----------|
| | g/km | dif. (%) | g/km | dif. (%) | g/km | dif. (%) | g/km | dif. (%) |
| Diesel Fuel | 0.634 | - | 0.146 | - | 0.991 | - | 0.078 | - |
| 20% Methyl Ester | 0.574 | -9% | 0.128 | -12% | 0.986 | -1% | 0.083 | +6% |
| 100% Methyl Ester | 0.497 | -22% | 0.058 | -48% | 1.025 | +4% | 0.072 | -8% |

HC emissions are very much reduced, with an almost linear reduction for proportions of methyl ester higher than 15%. The emissions of NO_x that have been obtained are similar to those of diesel fuel, with a very slightly bigger value as the methyl ester content increases. The combined values of HC and NO_x follow the HC trend.



Kys. 11. Zmiany emisji składników toksycznych w teście europejskim przy użyciu mieszanin ON i EMKTOS w różnych proporcjach (paliwo odniesienia: czysty ON; wyniki średnie dla dwóch samochodów osobowych)

Fig. 11. Variation of emissions in European Driving Cycle using mixtures of sunflower oil methyl ester and diesel fuel in different proportions (Reference fuel: pure diesel fuel. Average of the two passenger cars)

In the case of particles, the most critical conditions are again those of the mixtures with 5% and 10% of biodiesel, since they cause again increments up to 30%. For the rest of mixtures, with a biodiesel content higher than 50% it can be seen a slight decrease up to the minimum value corresponding to 100%.

Endurance test in passenger vehicles

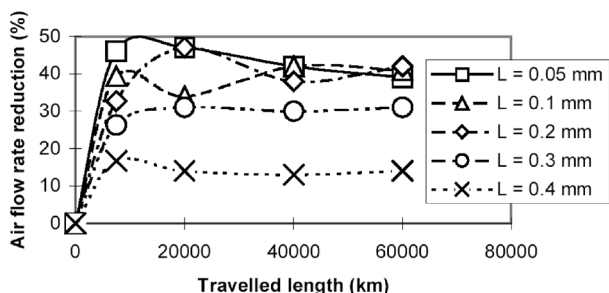
The main objective of this test was to detect if the continuous use of a diesel fuel-biodiesel mixture can cause any important effect on the different critical elements of the engine. The test has consisted on the use of a Renault Laguna 2.1D car during 80,000 km, with a mixture of 10% of sunflower oil methyl ester and 90% diesel fuel. The test was planned with the purpose of being able to detect the most outstanding details and obtaining useful data when outlining other more complete endurance tests.

The periodic controls and checks during the test were the following:

- a) Control of the engine lubricant. Three changes of lubricant oil were carried out during the vehicle use at 7,500, 15,000 and 22,500 km. The following properties of the used oil were determined: Viscosity at 40 and 100°C, water presence, stain test (Blotter), TBN and TAN, presence of metals by spectrophotometry, total solids, insoluble matter in pentane and methyl benzene, and fuel

wymianami oleju na 10000 km (częstotliwość wymian oleju zalecana przez producenta dla czystego ON wynosi 7500 km).

b) Zanieczyszczenia wtryskiwaczy. Wtryskiwacze były wymontowywane przy przebiegu 7500, 20000, 40000 i 60000 km i zgodnie z normą ISO 4010 mierzono przepływ powietrza przez rozpylacze. Wyniki były porównywane z wartościami odpowiadającymi czystem rozpylaczom. Uzyskane wyniki dla różnego wzniosu iglicy (L) przedstawiono na rysunku 12. Uzyskane wyniki można uznać za bardzo dobre, porównywalne a nawet lepsze niż przy czystym ON. Po przebiegu 80000 nie stwierdzono żadnego zanieczyszczenia wtryskiwaczy. Jest to istotne, bowiem liczba jodowa EMKTOS wynosi powyżej 125, a jest to poziom, przy którym zazwyczaj występuje dość intensywne tworzenie osadów (żywic), co może prowadzić do zanieczyszczenia wtryskiwaczy. Wyniki pokazują jednak, że wysoka liczba jodowa (wyższa niż dla estrów rzepakowych) nie stanowi zagrożenia dla układu wtryskowego.



Rys. 12. Zmniejszenie pola przekroju poprzecznego wtryskiwaczy w funkcji drogi przebytej przez pojazd

Fig. 12. Deterioration of cross sectional area of injectors as a function of the travelled length

c) Zużycie paliwa. Wykonywano okresowe pomiary zużycia paliwa. Nie były to w ścisłym sensie pomiary porównawcze, bowiem nie zawsze warunki eksploatacji pojazdu w czasie pomiarów były takie same, niemniej wystarczająco dokładne dla wskazania ewentualnych trendów zmian. Pomimo wahań zużycia paliwa związanych ze zmiennymi warunkami eksploatacji, zużycie paliwa kształtowało się na stabilnym poziomie przez cały okres badań (tab. 5).

d) Stan filtra paliwa. Dla określenia zanieczyszczenia i spadku ciśnienia przy przepływie przez filtr zaprojektowano spe-

dilution. The quality of the oil was very good in all the analysed samples, not presenting in any case abnormal or inadequate deterioration in its properties and gathering the necessary conditions to allow increasing the period between two oil changes. Later on this interval among changes was increased up to 15.000 km, being carried out two changes at 37,500 and 52,500 km. All the analysed parameters were correct. However, some of them, as the index of contamination and the dispersion capacity were already very near the limit. That advised to reduce the period among changes to 10,000 km. (the change recommended by the carmaker in the case of the diesel fuel vehicle is every 7,500 km).

b) Control of injector choking. At 7,500, 20,000, 40,000 and 60,000 km the injectors of the engine were disassembled and, following the norm ISO 4010, the airflow passing through the injection nozzles was measured. These values were compared with the corresponding to the clean injector. The obtained results for the different values of the needle lift (L) are presented in Figure 12. The obtained results can be considered very good, comparable and even better than the habitual values obtained with pure diesel fuel in that type of vehicles. No kind of deterioration has been detected by choking of the injectors after 80,000 km. This result is important, since Iodine Number of sunflower oil methyl ester is above 125, a value which is usually associated to problems of deposit (gums) formation which could lead to injection valve choking. The result shows that a high Iodine Number (higher than that of rapeseed) is not a problem from the point of view of injection system.

c) Control of fuel consumption. It has been carried out a periodic control of fuel consumption. Although this fact cannot be considered in strict sense, because the conditions of use of the vehicle have not always been the same ones, it can give an idea of the trends. The results are shown in the Table 5. In spite of the temporary variability that it comes influenced by the use conditions, the consumption remains stabilised along the time.

d) Control of the state of the fuel filter. For the control of obstruction and pressure drop of the filter a test facility was designed to determine the fuel flow passing through the filter under a constant liquid column. During these tests an important pollution of the filters of fuel was detected starting from periods of the endurance test of the order of 10,000-12,000 km, slightly inferior periods to the recommended ones for the diesel fuel by the carmaker (15,000 km).

e) Engine power measurement. The power at the traction wheels was measured every 20,000 km (with an intermediate point after the first 10,000 km) in a roller test rig and the results are plotted up in Figure 13. The power plots were measured while accele-

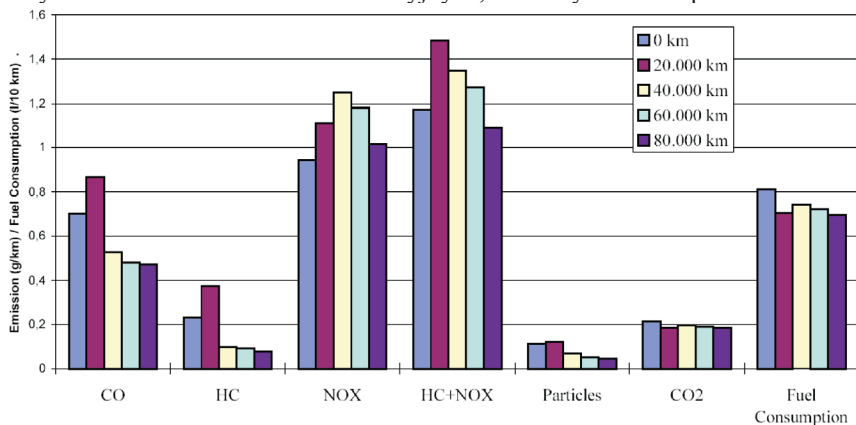
Tab. 5. Średnie zużycie paliwa (litry/100 km) w poszczególnych etapach badań długotrwałych

Table 5. Evolution of the average fuel consumption during the period of endurance test (in l/100 km)

| Interval (km) | Consumption in the interval (l/100 km) | Cumulative consumption (l/100 km) | Interval (km) | Consumption in the interval (l/100 km) | Cumulative consumption (l/100 km) |
|------------------|--|-----------------------------------|------------------|--|-----------------------------------|
| 0 to 5,000 | 7.06 | 7.06 | 20,000 to 30,000 | 7.36 | 7.21 |
| 5,000 to 10,000 | 7.03 | 7.05 | 30,000 to 40,000 | 7.18 | 7.20 |
| 10,000 to 15,000 | 7.49 | 7.17 | 40,000 to 50,000 | 7.24 | 7.21 |
| 15,000 to 20,000 | 6.92 | 7.11 | 50,000 to 60,000 | 6.88 | 7.16 |

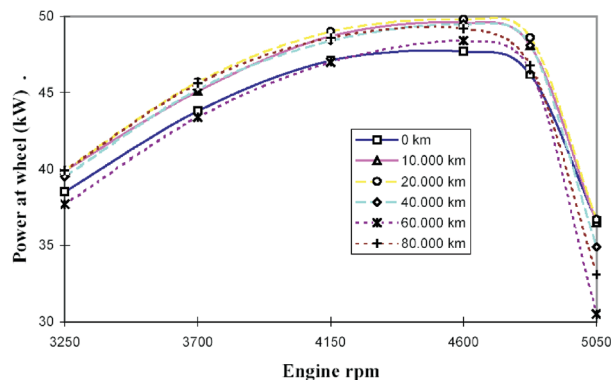
cyjny układ, który umożliwił określenie przepływu paliwa przez filtr pod działaniem stałego słupa cieczy. Podczas badań znaczące zanieczyszczenie filtrów następowało po 10000 – 12000 km przebiegu, co oznacza wartość nieco gorszą niż zalecana przez producenta pojazdu w przypadku zasilania ON (15000 km).

- e) Moc silnika. Moc na kołach napędowych pojazdu była mierzona na hamowni podwoziowej co 20000 km przebiegu oraz dodatkowo po pierwszych 10000 km. Pomiar mocy wykonano podczas przyspieszania na trzecim biegu. Wyniki pomiarów przedstawiono na rysunku 13. Dla punktów pomiarowych przy przebiegu 10 i 20 tysięcy km stwierdzono wzrost mocy w porównaniu do punktu poprzedniego, skąd wynika, że dla nowego samochodu przebieg wpływa korzystnie na rozwijaną moc. Pomiar przy 40000 km pokazał niewielki spadek mocy, natomiast pomiar przy 60000 km pokazał już istotny spadek mocy – o 2 do 5%, który nie został jednak potwierdzony w ostatnim pomiarze – przy 80000 km.
- f) Hałas. Pomiar hałasu w funkcji prędkości obrotowej silnika wykonywano w komorze pomiarowej co 20000 km. Wyniki okresowych pomiarów hałasu porównywano do wyniku uzyskanego na początku badań. Po przebiegu 20000 km nastąpił wzrost hałasu o około 1 decybel. W dalszej części badań długotrwałych nie stwierdzono dalszych zmian emisji hałasu.
- g) Emisja składników toksycznych w spalinach i zużycie paliwa w teście jezdnym. Pomiar wykonano w europejskim teście UDC+EUDC, zgodnie z Dyrektywą 93/59/CEE, poprawka 1. Pomiar wykonywany był co 20000 km i odnoszone do wyników referencyjnych uzyskanych na początku testu trwałościowego. Mierzono limitowane składniki spalin: CO, HC+NO_x i PM, a także emisję CO₂ oraz obliczano teoretyczne zużycie paliwa. Wyniki przedstawiono na rysunku 14; są one wyrażone w g/km, oprócz emisji CO₂ (kg/km) i zużycia paliwa (litry/100 km). Wyniki uzyskane przy 20000 km przebiegu odbiegały nieco od trendu, który wystąpił przy większych przebiegach. W szczególności dotyczy to zużycia paliwa oraz emisji CO i HC. W testach przy większych przebiegach emisja CO, HC i PM była niższa niż w badaniach referencyjnych, nieco wyższa



Rys. 14. Emisja składników spalin i zużycie paliwa w cyklu europejskim w czasie badań długotrwałych

Fig. 14. Results of emission test and fuel consumption in European Driving Cycle



Rys. 13. Krzywe mocy na kołach w funkcji drogi przebytej przez pojazd

Fig. 13. Plots of power at wheel as a function of length run

rating the vehicle in 3rd gear, with the fuel mixture (10% biodiesel). In the three first tests (0, 10 and 20 thousand km) an increase of power is always observed with regard to the previous one, for what one can say that the effect of “running” of a new vehicle it is still acting positively on the total power of the engine. In the test of 40,000 km the power experiences a slight descent and in that of the 60,000 km an important fall was detected (between 2 and 5%) that was not confirmed in the later test of 80,000 km.

- f) Noise measurement. Every 20,000 km, a measurement of the total noise of the vehicle as a function of the engine rpm was carried out in a semianecoic test chamber. These periodic results were compared with the value measured at the beginning of the endurance period. In the test corresponding to 20,000 km an increment of noise was detected (of the order of 1 decibel) with regard to the initial test. However, after this test any type of additional increment has not been detected, because the results of the later tests have been all very similar ones.
- g) Emissions and fuel consumption I driving test. The measurements have been made in the European Driving urban + interurban Cycle according to the Directive 93/59/CEE, revision I. The results obtained every 20,000 km were compared with the data corresponding to the beginning of the endurance test. The pollutants subject to normative (CO, HC+NO_x and particles) and the amount of emitted CO₂ was measured and the theoretical fuel consumption was calculated. The results of the different carried out tests every 20,000 km are presented in Figure 14. All the results are expressed in g/km, except the emission of CO₂ (in kg/km) and the fuel consumption (in l/100 km, note the scale). The results corresponding to 20,000 km were slightly off of the trend shown for longer lengths, in particular for fuel consumption and CO and HC emissions. In the later tests, emissions for monoxide of

CO₂ was measured and the theoretical fuel consumption was calculated. The results of the different carried out tests every 20,000 km are presented in Figure 14. All the results are expressed in g/km, except the emission of CO₂ (in kg/km) and the fuel consumption (in l/100 km, note the scale). The results corresponding to 20,000 km were slightly off of the trend shown for longer lengths, in particular for fuel consumption and CO and HC emissions. In the later tests, emissions for monoxide of

była natomiast emisja NO_x . Po pewnym przebiegu emisja CO i zużycie paliwa osiągnęły stałą wartość, niższą niż w badaniach referencyjnych.

Badania długotrwałe autobusów miejskich

Badania prowadzone były na czterech autobusach PEGASO 6420, napędzanych 6-cylindrowymi, wolnossącymi silnikami ZS o pojemności 12 dm^3 . Zasilane były one mieszaniną 70% ON i 30% EMKTOS. Dodatkowo, na tej samej trasie eksploatowane były dwa takie same autobusy zasilane czystym ON, stanowiące próbę odniesienia (referencyjną) prowadzonych badań. Uczestniczące w badaniach autobusy należały do AUVASA – Miejskiego Przedsiębiorstwa Komunikacji w Valladolid (Hiszpania). Mieszanina ON i EMKTOS wytwarzana była w specjalnym zbiorniku w zajezdni autobusowej, wyposażonym w przepływomierz, potrzebny do określania średniego zużycia paliwa każdego autobusu. Badania prowadzone były przez okres 6 miesięcy. Każdy z autobusów pokonywał dziennie 200-250 km, a w ciągu całych badań około 33000 km.

W ramach badań kontrolowano następujące parametry:

1. Średnie zużycie paliwa. Średnie zużycie paliwa było mierzone codziennie dla każdego autobusu przez określenie pokonanego dystansu i ilości zużytego paliwa. Wzrost zużycia paliwa przy zasilaniu mieszaniną EMKTOS i ON był mniejszy niż 1% (rys. 15).
2. Moc silnika i jego stan. Badanie mocy silnika wykonywano co 2 miesiące z wykorzystaniem metody swobodnego przyspieszania. Układ do tego badania został opracowany przez Cidaut [9]. Realizując swobodne przyspieszanie silnika do maksymalnej prędkości obrotowej, a następnie swobodny spadek prędkości obrotowej, układ umożliwiał oszacowanie mocy silnika oraz mocy strat mechanicznych. Ponadto układ umożliwiał pomiar chwilowego ciśnienia wtrysku, względnego ciśnienia sprężania oraz mocy elektrycznej pobieranej przez rozrusznik. Badając autobusy zasilane mieszaniną EMKTOS i ON nie stwierdzono żadnych nieprawidłowości, jedynie moc maksymalna uległa zmniejszeniu o 1-2% (rys. 16).
3. Stan filtrów paliwa. Silniki autobusów wyposażone były w dwa rodzaje filtrów paliwa – wstępny filtr papierowy w przezroczystej obudowie oraz dwa filtry główne dokładnego oczyszczania o wkładzie metalowym. Filtr wstępny był okresowo kontrolowany wizualnie. Filtry główne umieszczone były w zbrojonej obudowie i wymieniane co około 3 miesiące. Stopień ich zanieczyszczenia określany był przez pomiar natężenia przepływu przez nie w znormalizowanych warunkach. Nie stwierdzono znaczących różnic stanu filtrów w porównaniu do filtrów używanych tylko do ON.
4. Zanieczyszczenie wtryskiwaczy. Stan wtryskiwaczy został zbadany po zakończeniu całego testu. Stopień zanieczyszczenia wtryskiwaczy był mierzony na początku i na końcu testów długotrwałych za pomocą podobnej procedury jak w przypadku filtrów, tj. pomiaru średniego natężenia przepływu ON w znormalizowanych warunkach. Nie stwierdzono nadmiernego zanieczyszczenia.
5. Stan oleju silnikowego. Wymiany oleju dokonywano co około dwa miesiące, pobierając jednocześnie próbkę zuży-

carbon, hydrocarbons and particles improve a lot with regard to the initial test and they are only worse for nitrogen oxides. Due to the effect of running of the vehicle, the fuel consumption and emissions of carbon dioxide stay stabilised in values lower than those of the initial test.

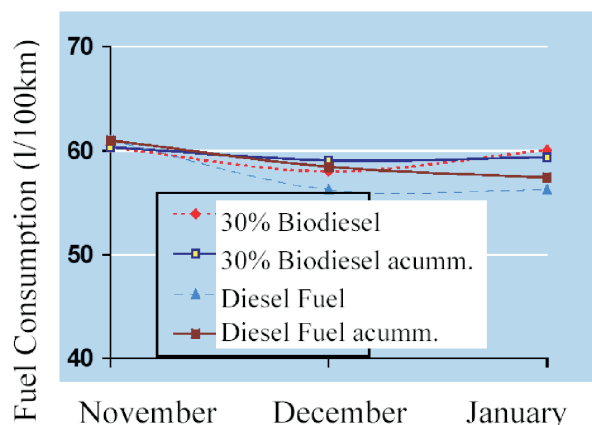
Endurance test in urban buses

The experience was carried out on 4 buses, type PEGASO 6420, with engine GO of 12 liters, 6 cylinders and natural aspiration. The buses belonged to the fleet of AUVASA (Valladolid city bus company) and they used as fuel a mixture of 30% of sunflower methyl ester and 70% of diesel fuel. The mixture was made in a specific tank at the bus station equipped with a flowmeter to measure the mean fuel consumption of each bus.

This experience was carried out during a period of 6 months. The distance travelled by each vehicle has been of 200-250 km/day that is equal at a total distance travelled in the period of about 33.000 km by vehicle. Two vehicles of the same type and model as the test buses running with diesel fuel along the same city courses were used as reference in the different tests.

The inspections that have been carried out during the experience were:

1. Control of average fuel consumption. Mean fuel consumption was controlled for each bus daily by registering the travelled kilometres and the volume of fuel consumed. The increment of the average fuel consumption was lower than 1% (Figure 15).
2. Engine power and condition. Every two months a control of the engine power by a free acceleration method was carried out. The equipment to do this test has been developed in Cidaut [9]. By performing a free acceleration of the engine up to its maximum rpm, followed by an also free deceleration, the system provides an estimation of the engine power and also, the power of mechanical losses. Moreover, the equipment can measure the instantaneous injection pressure, the relative cylinder compression and the electrical power during engine cranking. No anomaly was detected. The reduction of power measured with respect to that of diesel fuel was of only 1-2% (Figure 16).
3. State of fuel filters. The engine had two types of filters, a primary paper filter with a transparent casing and two main filters of metallic cartridge for the fine particles. On the primary filter a visual control was carried out periodically. The main filters have armoured casing. They were changed with an approximate period of 3 months. Their grade of dirtiness was analysed by measuring the flow passing through them under standard conditions. No significant differences were detected as compared to the diesel fuel operation.
4. Dirtiness of injectors. The state of the injectors was checked at the end of the experience. The grade of dirtiness of injection valves was measured at the beginning and end of the experience by a procedure similar to that of the filters (measurement of the mean flow rate of diesel fuel under standard conditions). No abnormal pollution was detected.



Rys. 15. Zużycie paliwa przez autobus poruszający się stale po tej samej trasie miejskiej (pokonywany dystans około 5500 km miesięcznie)

Fig. 15. Values of fuel consumption of one bus running always in the same city course (travelled length approx. 5,500 km/month)

tego oleju do analizy. Badano następujące parametry oleju: zawartość metali (aluminium, miedzi, chromu, cyny, żelaza, niklu, ołowiu), zawartość krzemionki, węgla, wody, frakcji nierozpuszczalnych, zanieczyszczenie paliwem, właściwości myjące, liczba zasadowa, lepkość w temperaturze 100°C. Jakość wszystkich próbek oleju była poprawna, nie stwierdzono nadmiernego pogorszenia właściwości oleju. Nie stwierdzono różnic w eksploatacji oleju w porównaniu do zasilania czystym ON.

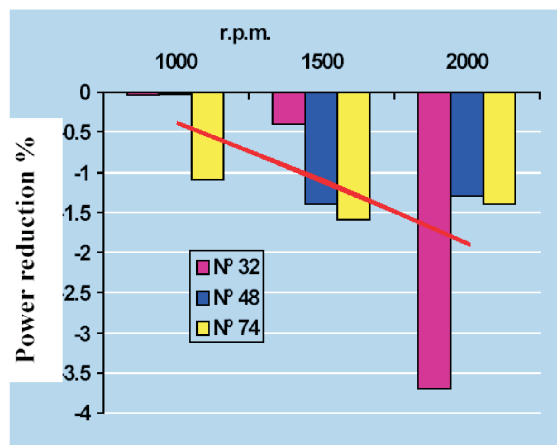
6. Toksyczność spalin. Co dwa miesiące wykonywano pomiar zadymienia spalin w warunkach swobodnego przyspieszania. Otrzymane wyniki nie wskazują jednoznacznego trendu, upoważniają jednak do stwierdzenia, że zastosowanie EMKTOS nie powoduje dużych zmian w zadymieniu spalin.

Wnioski

Zastosowanie biopaliw do zasilania silników samochodowych jako zamiennik paliw tradycyjnych daje wiele korzyści: jest to paliwo produkowane w kraju, z surowców odnawialnych, posiada dobre właściwości ekologiczne, sprzyja tworzeniu miejsc pracy w rolnictwie i pochodnych gałęziach przemysłu.

Biorąc pod uwagę rodzaje używanych silników, samochodowe biopaliwa można podzielić na dwie kategorie: stosowane do silników ZI – alkohole i etery oraz stosowane w silnikach ZS – oleje roślinne i ich pochodne – etery. Przy obecnych warunkach technologicznych, biopaliwem, które wykazuje najkorzystniejsze właściwości w aspekcie stosowania do silników ZS są estry metylowe kwasów tłuszczowych olejów roślinnych – rzepakowego i słonecznikowego.

Zarówno w Hiszpanii, jaki i w Europie istnieje silna polityczna wola na rzecz wprowadzenia biopaliw, co pozwoliło na przejście od przychylnego ustawodawstwa do produkcji i stosowania biopaliw. Europejska Dyrektywa 2003/30/CE z 8 maja 2003 r. mówi również o innych typach biopaliw. Koncepcja nowego biopaliwa – „e-diesla”, czyli mieszaniny biotanolu i ON wydaje się dość obiecująca.



Rys. 16. Zmniejszenie mocy silnika w stosunku do zasilania czystym ON dla trzech autobusów

Fig. 16. Measured power reduction as compared to diesel fuel normal operation for three buses

5. State of the lubricant oil. The change of oil was carried out with an approximate period of two months, taking sample of the used oil for its analysis. The oil parameters analysed were: Waste metals (aluminium, copper, chromium, tin, iron, nickel, and lead), contents in silica, coal, detergency, fuel dilution, water, insoluble matter, TBN and viscosity at 100°C. The quality of the oil was correct in all the analysed samples, not presenting, in any of the cases, abnormal or inadequate deterioration in its properties. No type of difference with regard to the operation with diesel fuel was found.
6. Emissions test. Every two months tests of opacity of the exhaust gases were carried out under free acceleration conditions. The obtained results do not have a clear tendency, but at least it can be concluded from them that there are no big differences in the emission of smoke by the use of the biofuel.

Conclusions

The use of biofuels in automotive engines as substitute of the traditional fuels presents many advantages for the fact of being an autochthonous fuel, of renewable origin, favourable to the conservation of the environment and generator of employment in the agriculture and derivative industries.

According to the engine type that are applied, automotive biofuels are classified in two categories: Those used in spark ignition engines (gasoline type): Alcohol and ethers, and those used in engines diesel: Vegetable oils and their derivatives the esters. Under the current technological conditions, the biofuel that present a more favourable behaviour in diesel engines are methyl esters derived from vegetable oils, such as rapeseed or sunflower. Both to European level and Spanish level an important political will exists in favour of the introduction of the biofuels, what has allowed the development from a quite favourable legislation to the production and use of the same ones. The European Directive 2003/30/CE (May 8th, 2003) includes also other types of

Przedstawione opracowanie zawiera wyniki badań uzyskane przez autorów w zakresie właściwości i eksploatacji EMKTOS. Wykonane badania obejmowały: testy na hamowni silnikowej, testy na hamowni podwozowej w teście europejskim UDC+EUDC oraz testy długotrwałe samochodów osobowych i miejskich autobusów. Zespół badawczy autorów posiada również doświadczenia w zakresie otrzymywania estrów metylowych kwasów tłuszczowych oraz szczegółowej analizy struktury strugi rozpylonego paliwa.

Główne wyniki przedstawionych badań mogą być podsumowane następująco:

- Mieszanki EMKTOS i ON, w szczególności te zawierające poniżej 20% EMKTOS, posiadają odpowiednie właściwości do zastosowania jako paliwo silników ZS, bez potrzeby ich modyfikacji. Aktualna specyfikacja oleju napędowego – EN 590 dopuszcza zawartość w ON do 5% EMKTOS. Według wyników badań autorów, zawartość ta może być zwiększona do 20% bez żadnych negatywnych skutków.
- Wyniki badań na hamowni silnikowej potwierdziły ogólne zależności i wyniki innych badań zazwyczaj odnoszące się do EMKTOS. Stwierdzono zmniejszenie mocy i momentu maksymalnego silnika ze względu na mniejszą wartość opałową paliwa połączone ze zwiększonym zużyciem paliwa (do 16% przy czystych EMKTOS). Emisja CO i HC uległa zmniejszeniu przy paliwie zawierającym dużo EMKTOS, natomiast przy niewielkiej ich zawartości stwierdzono wzrost emisji przy małej prędkości obrotowej silnika: CO o 5%, HC o 5-30%. Emisja NO_x wykazywała słaby trend wzrostowy wraz ze zwiększaniem zawartości EMKTOS w paliwie.
- Wyniki uzyskane podczas badań dwóch samochodów osobowych w cyklu UDC+EUDC potwierdziły zależności uzyskane na hamowni silnikowej. Emisja CO wzrosła przy zawartości EMKTOS 5 i 10%, natomiast przy większej zawartości uległa zmniejszeniu. Emisja HC uległa ogólnie zmniejszeniu, w szczególności przy zawartości EMKTOS powyżej 15%. Emisja NO_x dla czystych EMKTOS była większa o 4% i wykazywała liniową zależność od zawartości EMKTOS w paliwie. Emisja PM miała bardziej niejednorodny przebieg – dla zawartości EMKTOS 5 i 10% nastąpił wzrost emisji, a przy większej zawartości odnotowano zmniejszenie emisji (o 8% dla czystych EMKTOS).
- Test długotrwały samochodów osobowych obejmował przebieg 80000 km, podczas którego pojazdy zasilane były mieszaniną zawierającą 10% EMKTOS. Nie stwierdzono nieprawidłowości w zakresie: stanu oleju silnikowego, zanieczyszczenia wtryskiwaczy (pomimo wysokiej wartości liczby jodowej EMKTOS), zużycia paliwa, stanu filtrów paliwa (okres użytkowania został określony na 12000 km, tj. nieco mniej niż zaleca producent pojazdu), zmian mocy silnika w funkcji przebiegu samochodu, hałaśliwości pojazdu oraz emisji toksycznych składników spalin. Uzyskane wyniki odpowiadały wynikom spodziewanym dla takiego samego pojazdu zasilanego czystym ON.
- Podobne wnioski wynikają z testu długotrwałego autobusów miejskich zasilanych mieszaniną zawierającą 30% EMKTOS. Nie stwierdzono nieprawidłowości w zakresie: zużycia paliwa, mocy i stanu silnika, stanu filtrów paliwa,

biofuels. A new biofuel concept, the e-diesel, a mixture of (bio)ethanol and diesel fuel presents some attractive.

The paper contains the results obtained by the authors relative to the properties and the performance tests of sunflower methyl esters. The tests carried out include engine test rig, European Driving Cycle Test, endurance test with passenger cars and public city buses. The authors research group includes experience in both the obtaining of methyl esters [10] and the detailed analysis of the structure of fuel spray.

The main results of the presented tests can be summarised as follows:

- The mixtures of sunflower oil methyl diesel and diesel fuel, and especially those with less than 20% of ester, present perfectly valid properties and characteristics for their use in diesel engines without the need of modification. The current specification for Diesel fuel, EN 590, allows the presence of up to 5% of methyl ester, while, according to the authors results, this amount could be increased without consequences up to 20%.
- The results in engine test rigs confirm the general trends or other results, usually referred to rapeseed oil methyl esters. There is a reduction of full load power and torque, due to a lower heating value methyl esters, in accordance with an increase in fuel consumption (up to 16% for pure methyl ester). CO and HC are reduced for pure methyl ester and high contents of this, in spite of the fact that a moderate increase was observed for small contents of methyl ester (5% for CO and 5-30% for HC) at low engine rpm. NO_x emissions show a very weak trend to increase as methyl ester content increases.
- The results obtained in two passenger cars running a European Driving Cycle presented the same trends of the previous in engine test rig. CO emissions increased for a 5 and 10% methyl ester content, while they decreased for higher biodiesel content. HC emissions in general decreased, in particular for methyl ester content higher than 15%. NO_x emissions show a 4% increase for pure methyl ester with an almost linear variation between that value and 0. Particles showed a more erratic behaviour, with an increase for 5 and 10% methyl ester and a posterior decrease as biofuel increases (reduction of 8% for pure biofuel).
- The endurance test covered 80,000 km in a passenger car with a fuel containing 10% of sunflower methyl ester. No problem was detected in lubricant, injection valve choking (in spite of the fact of the relatively high Iodine Number of sunflower oil methyl ester), fuel consumption, fuel filters (a period of change was established in 12,000 km, shorter than prescribed by car manufacturer), evolution of power with the distance travelled, total vehicle noise in semi-anechoic test chamber, and emissions and fuel consumption in driving cycle. All the results were in accordance with it is expected for the same car running with pure diesel fuel.
- Similar conclusions can be obtained from the endurance test with four city buses, running with a 30% content of

zanieczyszczenia wtryskiwaczy, stanu oleju silnikowego oraz zadymienia spalin.

Ogólnie można zatem stwierdzić, że na obecnym poziomie technicznym nie ma większych przeszkód, które ograniczałyby rozwój EMKTOS jako biopaliwa do silników ZS. Wszystkie różnice właściwości EMKTOS w odniesieniu do ON są dobrze znane i związane z tym problemy mogą być rozwiązane.

Podziękowania

Autorzy składają podziękowania Generalnej Dyrekcji Przemysłu, Energii i Kopalń Rządu Regionalnego w Castilla i Leon a także firmom Renault, CEPSA, REPSOL i CLH za wydatną współpracę przy realizacji projektów badawczych. Podziękowania kierują także do Hiszpańskiego Instytutu Różnicowania i Oszczędności Energii IDAE oraz Miejskiego Przedsiębiorstwa Autobusowego w Valladolid AUVASA za umożliwienie przeprowadzenia testów długotrwałych.

Artykuł recenzowany

Skróty i oznaczenia/Abbreviations and Nomenclature

EMKTOS estry metylowe kwasów tłuszczowych oleju słonecznikowego/*Methyl Esters of Sunflower Oil*
 FAME estry metylowe kwasów tłuszczowych/*Fatty Acid Methyl Esters*
 HHV Górna wartość opałowa/*Higher Heating Value*
 LHV Dolna wartość opałowa/*Lower Heating Value*

methyl ester. No anomaly was detected relative to fuel consumption, engine power and condition, fuel filters, choking of injection valves, lubricant state, and opacity of the exhaust gas.

As a general conclusion it can be stated that there is no significant barrier at a technical level that should brake the development of methyl esters as biofuels for diesel engines. All the behaviour differences that they present with regard to diesel fuel are perfectly well known and can be overcome.

Acknowledgements

The authors want to express their acknowledgement to the General Direction of Industry, Energy and Mines of the Castilla and Leon Regional Government, as well as to the companies RENAULT, CEPSA, REPSOL and CLH for their important collaboration to the different projects carried out. Also to the Spanish Institute for Energy Diversification and Saving (IDAE) and to the Valladolid City Bus Company AUVASA that made possible the endurance tests in urban buses.

ON olej napędowy/*diesel fuel*
 OR olej rzepakowy/*rape-seed oil*
 ETBE eter etylotertbutylowy/*Ethyl-Tertio-Butyl Ether*
 MTBE eter metylotertbutylowego/*Methyl-Tertio-Butyl Ether*
 POCF temperatura zablokowania zimnego filtra/*Point of obstruction of cold filter*

Literatura/Bibliography

- [1] Directive 2003/30/CE of the European Parliament and the Council, on the Promotion of use of biofuels and other renewable fuels for transport, L123/42, 8 May, 2003.
- [2] Tinaut F. V., Melgar A., Briceño Y., Castaño V.: Motor biofuels: history, current status and future perspectives. Congress Proceedings FISITA World Automotive Congress, Paris, France, 1998.
- [3] Scholl K. W., Sorensen S. C.: Combustion of Soybean Oil Methyl Ester in a Direct Injection Engine. SAE Paper 930934, 1993.
- [4] Humke A. L., Barsic N. J.: Performance and Emission Characteristics of a Naturally Aspirated Diesel Engine with Vegetable Oil Fuels (Part 2). SAE Paper 810955, 1981.
- [5] Pächter H.: Rapeseed Oil Methyl Ester (RME) as an Alternative Diesel Fuel Fleet Trials in the Austrian Army. AVL 1991.
- [6] Richter H.: Use of Rapeseed Oil as an Alternative Fuel for Diesel Engines. AVL 1991.
- [7] Culshaw F. A.: The Potential of Biodiesel from Oilseed Rape. Proc. Instn. Mech. Engrs. Vol. 207, 1993.
- [8] Tinaut F. V., Melgar A., Castaño V.: Technical evaluation of the use of sunflower oil derivatives in diesel engines. Proceedings of Seminar on Energy from Biomass and Waste, Valladolid, Spain, 1995.
- [9] CIDAUT. Internal Report: A Combined Methodology for the Non-Intrusive Diagnosis of Reciprocating Internal Combustion Engines. 2002.
- [10] Antolín G., Tinaut F. V., Briceño Y., Castaño V., Pérez C., Ramírez A. I.: Optimisation of biodiesel production by sunflower oil transesterification. Bioresource Technology, Vol. 83, pp. 111-114, 2002.
- [11] Jiménez J., Méndez C., Castro F., Tinaut F., Giménez B.: Experimental Comparison Between Conventional and Bio-Derived Fuel Sprays. SAE Technical Paper Series 2001-01-1072, Vol.: Diesel Fuel Injection and Sprays (SP-1583), 2001.

* Francisco V. Tinaut – E.T.S.I.I., Wydział Inżynierii Energetycznej i Mechaniki Płynów, Uniwersytet w Valladolid, Hiszpania.

Mr Francisco V. Tinaut – Dept. Energy Engineering and Fluid-mechanics, E.T.S.I.I., University of Valladolid, Spain.



Andrés Melgar – E.T.S.I.I., Wydział Inżynierii Energetycznej i Mechaniki Płynów, Uniwersytet w Valladolid, Hiszpania.

Mr Andrés Melgar – Dept. Energy Engineering and Fluid-mechanics, E.T.S.I.I., University of Valladolid, Spain.



Yolanda Briceño – Centrum Badawczo-Rozwojowe Pojazdów, Zespół Energii i Środowiska, Park Technologiczny w Boecillo, Hiszpania.

Ms Yolanda Briceño – Energy and Environment Area, Centre for Automotive Research and Development (CIDAUT), Parque Tecnológico de Boecillo, Spain.



Alfonso Horrillo – Centrum Badawczo-Rozwojowe Pojazdów, Zespół Energii i Środowiska, Park Technologiczny w Boecillo, Hiszpania.

Mr Alfonso Horrillo – Energy and Environment Area, Centre for Automotive Research and Development (CIDAUT), Parque Tecnológico de Boecillo, Spain.

