

Article citation info:

Chłopek Z, Jagiełło S, Juwa S, Skrzek T. Comparative examination of performance characteristics of an IC engine fuelled with diesel oil and rape methyl esters. The Archives of Automotive Engineering-Archiwum Motoryzacji. 2016; 74(4):19-32, <http://dx.doi.org/10.14669/AM.VOL74.ART2>

Comparative examination of performance characteristics of an IC engine fuelled with diesel oil and rape methyl esters

Badania porównawcze właściwości użytkowych silnika spalinowego zasilanego olejem napędowym i estrami metylowymi oleju rzepakowego

**Zdzisław Chłopek¹, Sebastian Jagiełło²,
Sebastian Juwa³, Tomasz Skrzek⁴**

**Politechnika Warszawska,
Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza
Pułaskiego w Radomiu**

Summary

Results of comparative examination of the performance characteristics of a compression ignition (CI) engine fuelled with diesel oil and rape methyl esters (RME) have been presented. The engine performance characteristics were assessed from the point of view of energy (effective power and torque of the engine), economy (effective efficiency), and environmental impact (pollutant emission). At the tests, the admixture of summer and winter additives to the rape methyl esters was taken into account. The tests were carried out

¹ Politechnika Warszawska, Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych, Instytut Pojazdów, ul. Narbutta 84, 02-791 Warszawa, Polska, e-mail: zchlopek@simr.pw.edu.pl

² Politechnika Warszawska, Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych, Instytut Pojazdów, ul. Narbutta 84, 02-791 Warszawa, Polska, e-mail: jagiello.sebastian@gmail.com

³ Politechnika Warszawska, Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych, Instytut Pojazdów, ul. Narbutta 84, 02-791 Warszawa, Polska, e-mail: sebastianjuwa@interia.pl

⁴ Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu, Wydział Mechaniczny, Instytut Eksploatacji Pojazdów i Maszyn, Al. Bolesława Chrobrego 45, 26-600 Radom, Polska, e-mail: t.skrzek@uthrad.pl

in the conditions of taking the full-load engine performance vs. engine speed on an AVL Single Cylinder Test Bed provided with a single-cylinder CI research engine AVL 5402, a set of exhaust gas analysers, and instrumentation to control the operation of the whole system. The measurement data were completed and analysed with the use of the AVL PUMA software. In result of the tests carried out, significant differences were found to exist between the engine performance characteristics obtained for the summer and winter versions of vegetable-oil methyl esters. Apart from this, the use of the biofuels under test was found to have a favourable impact on pollutant emission.

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań porównawczych właściwości użytkowych silnika o zapłonie samoczynnym zasilanego olejem napędowym i estrami metylowymi oleju rzepakowego. Jako właściwości użytkowe silnika oceniano właściwości: energetyczne ze względu na moc użyteczną i moment obrotowy, ekonomiczne ze względu na sprawność ogólną oraz ekologiczne ze względu na emisję zanieczyszczeń. W badaniach uwzględniono estry metylowe oleju rzepakowego z dodatkami letnim i zimowym. Badania przeprowadzono w warunkach zewnętrznej charakterystyki prędkościowej na stanowisku badawczym AVL Single Cylinder Test Bed z jednocylindrowym silnikiem badawczym o zapłonie samoczynnym AVL 5402 i zespołem analizatorów spalin oraz oprzyrządowaniem sterującym pracą całego systemu. Do kompletowania oraz analizy danych wykorzystano oprogramowanie AVL PUMA. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono duże różnice we właściwościach użytkowych silnika dla wersji letniej i zimowej estrów metylowych olejów roślinnych. Stwierdzono również korzystny wpływ stosowania badanych biopaliw na emisję zanieczyszczeń.

Keywords: internal combustion engines, rape methyl ester, pollutant emission, fuel consumption, effective power

Słowa kluczowe: silniki spalinowe, estry metylowe oleju rzepakowego, emisja zanieczyszczeń, zużycie paliwa, moc użyteczna

1. Wstęp

Poszukiwanie paliw niekonwencjonalnych w stosunku do klasycznych paliw ropopochodnych (benzyn silnikowych i olejów napędowych), w szczególności do zasilania silników spalinowych, jest podyktowane względami zarówno ekologicznymi, jak i ekonomicznymi. Wśród względów ekologicznych wymienia się przede wszystkim emisję zanieczyszczeń, nie tylko szkodliwych dla zdrowia, lecz także – w wypadku rozpatrywania paliw pochodzących ze źródeł odnawialnych – dwutlenku węgla kopalnego w związku z programami klimatycznymi, mającymi na celu zmniejszenie emisji dwutlenku węgla kopalnego [10, 18]. Do względów zarówno ekologicznych, jak i ekonomicznych, zalicza się poszukiwania paliw, nie pochodzących ze źródeł kopalnych, do działań na rzecz ochrony zasobów naturalnych [10]. Aspektem ekonomiczno-społecznym jest aktywizacja społeczności i obszarów dotychczas zaniedbanych w celu wytwarzania surowców na paliwa niekonwencjonalne [10, 18].

Wśród paliw niekonwencjonalnych w stosunku do klasycznych paliw ropopochodnych

szczególną rolę odgrywają tzw. paliwa zastępcze, tzn. takie, które mogą być stosowane w seryjnych silnikach o zapłonie iskrowym zamiast benzyny silnikowej oraz w seryjnych silnikach o zapłonie samoczynnym zamiast olejów napędowych [10]. Jest sprawą dyskusyjną, czy paliwa zastępcze są w ogóle obecnie dostępne. Zazwyczaj zastosowanie paliw niekonwencjonalnych wymaga więcej lub mniej zasadniczych zmian regulacyjnych silnika. Oczywiście w wypadku tzw. paliw syntetycznych jest możliwe zapewnienie im właściwości zbliżonych do oryginalnych paliw konwencjonalnych, jednak paliwa te są dotychczas stosunkowo kosztowne, a poza tym zapewnienie im takich właściwości jest zazwyczaj związane z niewykorzystywaniem ich wszystkich możliwości jako paliw silnikowych.

Spośród dotychczas rozpowszechnionych paliw niekonwencjonalnych w stosunku do klasycznych paliw ropopochodnych najbardziej zbliżone do kategorii paliw zastępczych są paliwa skomponowane na bazie estrów olejów biologicznych [1, 6–9, 11–23, 24, 26–30]. W niniejszym artykule badaniom poddano paliwa handlowe:

- klasyczny olejem napędowy – oznaczenie: ORLEN VERVA,
- biopaliwo samoistne B100 (RME – Rape Methyl Esters – estry metylowe oleju rzepakowego) z dodatkiem letnim – RME – S,
- biopaliwo samoistne B100 z dodatkiem zimowym – RME – W.

Badania zostały przeprowadzone głównie w celu oceny, na ile jest możliwe uznanie biopaliw RME – S i RME – W za paliwa zastępcze oleju napędowego.

Badania właściwości silników o zapłonie samoczynnym, zasilanych estrami olejów biologicznych, mają długą tradycję. Sama idea stosowania paliw pochodzenia biologicznego nie jest w żadnym wypadku nowa. Wprost przeciwnie: pierwsze paliwa używane przez ludzi były pochodzenia biologicznego. Pierwsze udokumentowane ślady użytkowania ognia przez ludzi pochodzą sprzed 300 tysięcy lat z Czoukoutien w Chinach, gdzie homo erectus pekinensis używał jako paliwa drewna [25].

Idea zastosowania paliw pochodzenia biologicznego do zasilania silników jest również stara. Już do zasilania pierwszych silników spalinowych były stosowane paliwa pochodzenia biologicznego: alkohole, oleje roślinne i biogaz. Historycznie pierwszym udokumentowanym doniesieniem o zastosowaniu do zasilania silników o zapłonie samoczynnym paliw pochodzenia biologicznego jest informacja zawarta w opisie patentowym Rudolfa Christiana Karla Diesla z 1892 r.: „Chociaż wykorzystanie oleju roślinnego jako paliwa jest w obecnych czasach zagadnieniem o niewielkim znaczeniu, to nie jest wykluczone, że z biegiem lat paliwa tego rodzaju będą zyskiwać na znaczeniu, podobnie jak to ma miejsce w przypadku paliw węgl- i ropopochodnych obecnie” [28].

Literatura, związana ze stosowaniem estrów olejów roślinnych do zasilania silników o zapłonie samoczynnym, dotyczy przede wszystkim:

- ekologicznych właściwości silników ze względu na emisję zanieczyszczeń [1, 6–24, 26–30],
- energetycznych właściwości silników ze względu na moc użyteczną i moment obrotowy [1, 6–24, 26–30],
- ekonomicznych właściwości silników ze względu na jednostkowe zużycie paliwa, sprawność ogólną [1, 6–24, 26–30] i – dla pojazdów – eksploatacyjne zużycie paliwa [7–9, 28],
- eksploatacyjnych właściwości silników ze względu na niezawodność silników, zużycie ich elementów oraz – przede wszystkim – ze względu na właściwości rozruchowe silników w niskich temperaturach [28],

- właściwości procesu spalania w silnikach o zapłonie samoczynnym estrów olejów biologicznych [1, 11, 12, 14, 17, 20, 22, 23, 26],
- metod wytwarzania paliw silnikowych z olejów biologicznych różnego pochodzenia [28].

Właściwościom silników spalinowych zasilanych biopaliwami są poświęcone m.in. monografie [22, 28] oraz rozprawy doktorskie [14, 20, 23]. Szczegółowe prace dotyczą zasilania silników zarówno biopaliwami samoistnymi [1, 6–24, 26–29], jak i mieszaninami estrów olejów biologicznych z olejem napędowym [1, 7–9, 11, 14, 15, 19–24, 26–30]. Część prac jest poświęcona wynikom badań procesu spalania biopaliw w silnikach [1, 11, 12, 14, 16, 20, 22, 23, 26].

Najczęściej pojawiające się w doniesieniach literaturowych wnioski można podsumować w następujący sposób:

1. Zastosowanie estrów olejów roślinnych powoduje nieznaczne zmniejszenie emisji tlenku węgla i węglowodorów oraz duże zmniejszenie emisji cząstek stałych [1, 6–24, 26–30]. Znaczna część źródeł informuje o zwiększeniu emisji tlenków azotu: różnice w tym zakresie są znaczne – względne zwiększenie emisji tlenków azotu mieści się w granicach (10 ÷ 30)%.
2. Zastosowanie do zasilania samochodowych silników o zapłonie samoczynnym estrów metylowych oleju rzepakowego powoduje zwiększenie eksploatacyjnego zużycia paliwa – względne zwiększenie eksploatacyjnego zużycia paliwa wynosi około 10% [7–9].
3. Użytkowanie estrów olejów roślinnych wiąże się z problemami eksploatacyjnymi, w szczególności z rozwojem flory bakteryjnej w układach zasilania [28] oraz z pogorszeniem się właściwości rozruchowych silników w niskiej temperaturze z powodu przede wszystkim dużej lepkości estrów olejów roślinnych w niskiej temperaturze [28].
4. Stwierdza się również agresywne oddziaływanie chemiczne estrów olejów roślinnych na niektóre materiały silników spalinowych, w szczególności układów zasilania: zarówno metalowych, jak i – przede wszystkim – niemetalowych [28].
5. Badania procesu spalania w cylindrach silników spalinowych wskazują przede wszystkim na różnice czasu opóźnienia samozapłonu oraz szybkości narastania ciśnienia w wypadku stosowania biopaliw [1, 11, 12, 14, 16, 20, 22, 23, 26]. Zazwyczaj stwierdza się tendencję do zmniejszenia czasu opóźnienia samozapłonu oraz szybkości narastania ciśnienia w stosunku do oleju napędowego [1, 11, 12, 14, 16, 20, 22, 23, 26].

2. Badania empiryczne silnika

Badania porównawcze właściwości użytkowych silnika spalinowego zasilanego olejem napędowym i estrami metylowymi oleju rzepakowego przeprowadzono w Zakładzie Pojazdów i Silników Samochodowych Instytutu Eksploatacji Pojazdów i Maszyn na Wydziale Mechanicznego Uniwersytetu Technologiczno-Humanistycznego im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu w ramach realizacji prac dyplomowych przez Sebastiana Jagiełłę i Sebastiana Juwę, prowadzonych pod kierunkiem prof. dra hab. inż. Zdzisława Chłopka.

Badania empiryczne zostały przeprowadzone na stanowisku badawczym AVL Single Cylinder Test Bed [5] z jednocylindrowym silnikiem badawczym o zapłonie samoczynnym AVL 5402 [3] oraz zespołem analizatorów spalin oraz oprzyrządowaniem sterującym pracą

całego systemu. Do kompletowania oraz analizy danych służyło oprogramowanie AVL PUMA [4].

Podstawowe dane silnika AVL 5402 zawarto w tabeli.

Tabela. Podstawowe informacje o silniku AVL 5402

Liczba cylindrów	1
Średnica cylindra	85,01 mm
Skok tłoka	90,00 mm
Objętość skokowa	511,00 cm ³
System spalania	o zapłonie samoczynnym
Rozrząd	czterozaworowy
Stopień sprężania	17,0 ÷ 17,5
System zasilania	wtrysk bezpośredni, jeden wtryskiwacz, układ zasobnikowy (Common Rail)
Maksymalna moc użyteczna, bez doładowania	6 kW
Maksymalna moc użyteczna, z doładowaniem	16 kW
Znamionowa prędkość obrotowa	4200 min ⁻¹
Ciśnienie wtrysku	180 MPa

Silnik AVL 5402 ma, dzięki zastosowaniu specjalnych podkładek pod głowicę, możliwość zmiany stopnia sprężania. Specjalne otwory w głowicy pozwalają na wprowadzenie do komory spalania kamer i obserwowania przebiegu spalania mieszanki. Silnik jest wyposażony w układ recyrkulacji spalin oraz czujniki pozwalające między innymi na pomiar ciśnienia w komorze spalania i temperatury gazów wylotowych. Dzięki zainstalowanej aparaturze wtryskowej oraz dołączonemu oprogramowaniu można modyfikować algorytm zasilania silnika paliwem.

Zespół testowy AVL Single Cylinder Test Bed jest wyposażony w chłodzoną wodą hamulec elektrowirowy AVL DP80 do zadawania obciążenia oraz silnik elektryczny pozwalający na rozruch i napęd silnika, a także pompy i wymienniki ciepła zapewniające obieg cieczy chłodzącej oraz utrzymywanie ich temperatury.

Program badań obejmował pracę silnika w stanach statycznych na zewnętrznej charakterystyce prędkościowej w zakresie prędkości obrotowej (1200 ÷ 3600) min⁻¹ co 400 min⁻¹. Podstawowe pomiary obejmowały m.in. następujące wielkości:

- prędkość obrotową – n ,
- moment obrotowy – M_e ,
- masowe natężenie zużycia paliwa – G_f ,
- masowe natężenie zużycia powietrza – G_a ,
- objętościowe stężenie tlenku węgla – c_{CO} ,
- objętościowe stężenie węglowodorów – c_{HC} ,
- objętościowe stężenie tlenków azotu – c_{NO_x} ,
- masowe stężenie cząstek stałych – c_{PM} ,
- ciśnienie indykowane – p_g , rejestrowane w dziedzinie kąta obrotu wału korbowego – α ,
- temperaturę spalin – T_{ex} .

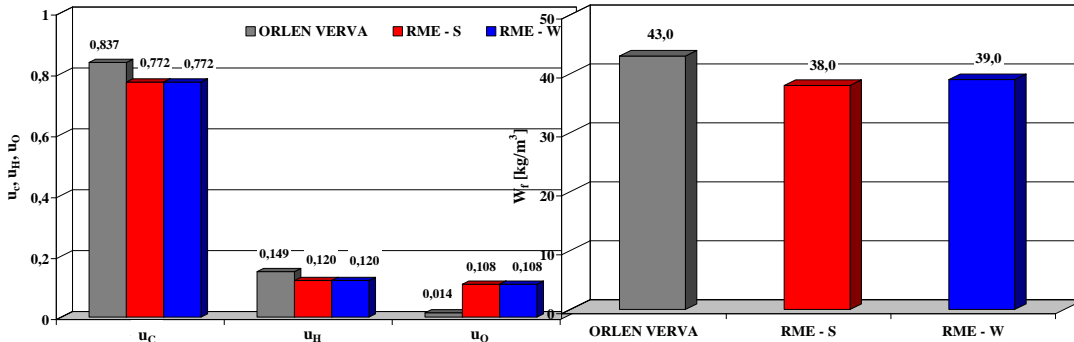
Aparatura zastosowana do badań jest zgodna z wymaganiami następujących przepisów: Dyrektywa 1999/96/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 13 grudnia 1999 r.,

Rozporządzenie (WE) nr 715/2007 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 20 czerwca 2007 r. oraz Rozporządzenie Komisji (WE) nr 692/2008 z dnia 18 lipca 2008 r.

W niniejszym artykule ograniczono się tylko do wyników, dotyczących właściwości silnika: energetycznych, ekonomicznych i ekologicznych, nie są natomiast przedstawione – ze względu na ograniczoną objętość pracy – wyniki analizy procesu spalania.

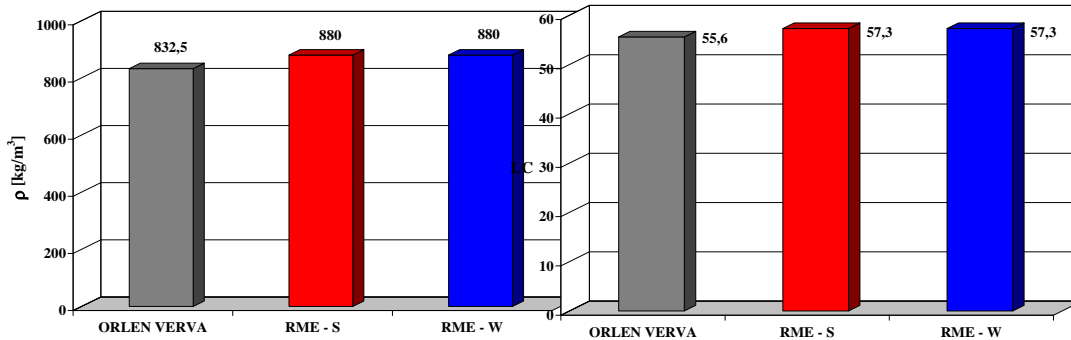
Na rysunkach 1–6 przedstawiono porównanie podstawowych właściwości paliw:

- skład elementarny paliw: zawartość masową węgla – u_C , wodoru – u_H i tlenu – u_O ,
- wartość opałową – W_f ,
- gęstość – ρ ,
- liczbę cetanową – LC,
- lepkość kinematyczną w temperaturze 40°C – ν ,
- temperaturę zablokowania zimnego filtra paliwa – t_b .



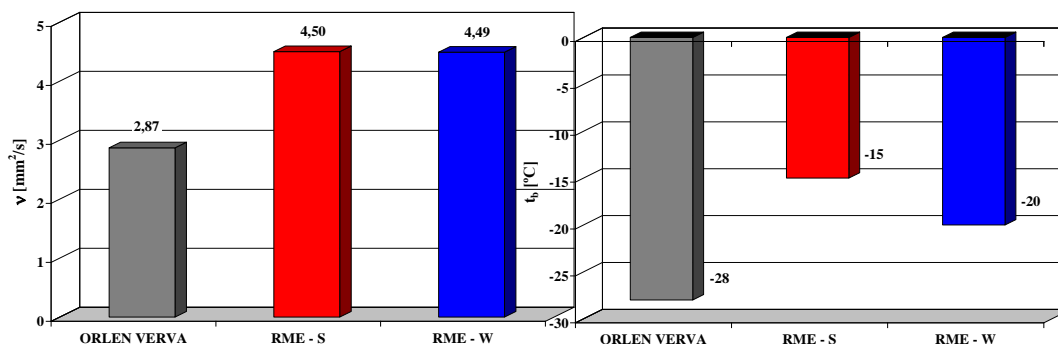
Rys. 1. Skład elementarny paliw: zawartość masowa węgla – u_C , wodoru – u_H i tlenu – u_O

Rys. 2. Wartość opałowa paliw – W_f



Rys. 3. Gęstość paliw – ρ

Rys. 3. Liczba cetanowa paliw – LC

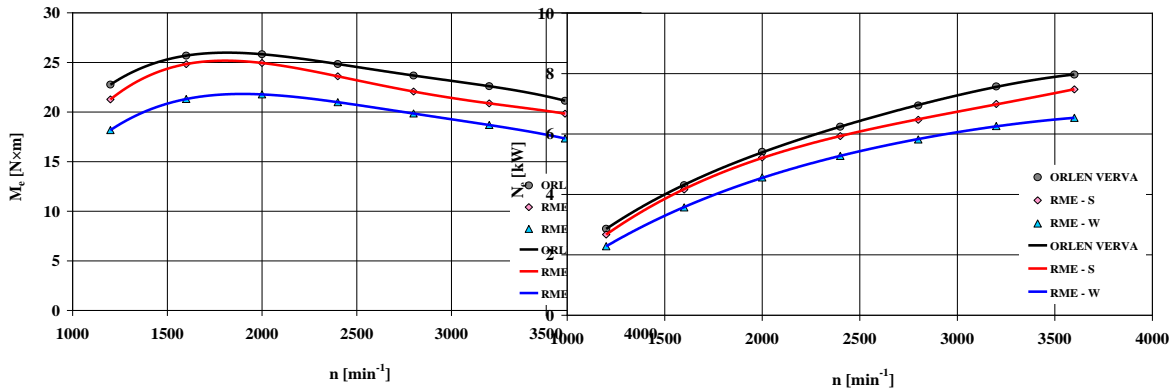


Rys. 5. Lepkość kinematyczna paliw w 40°C – ν Rys. 6. Temperatura zablokowania zimnego filtra paliwa – t_b

Biopaliwa mają znacznie większy udział masowy tlenu – prawie o rząd wielkości większy niż w wypadku oleju napędowego, w związku z czym wartość opałowa paliw RME jest mniejsza o ponad 10% od wartości opałowej oleju napędowego. Gęstość paliw RME jest większa od gęstości oleju napędowego o około 6%, natomiast paliwa RME mają lepszą skłonność do samozapłonu – liczbę cetanową większą o około 1,7. Dużo większa jest lepkość kinematyczna paliw RME w 40°C w odniesieniu do oleju napędowego – różnica względna wynosi prawie 60%. Istotne różnice są w wartościach temperatury zablokowania zimnego filtra paliwa – zdecydowanie gorsze są właściwości biopaliw, szczególnie wersji letniej – RME – S.

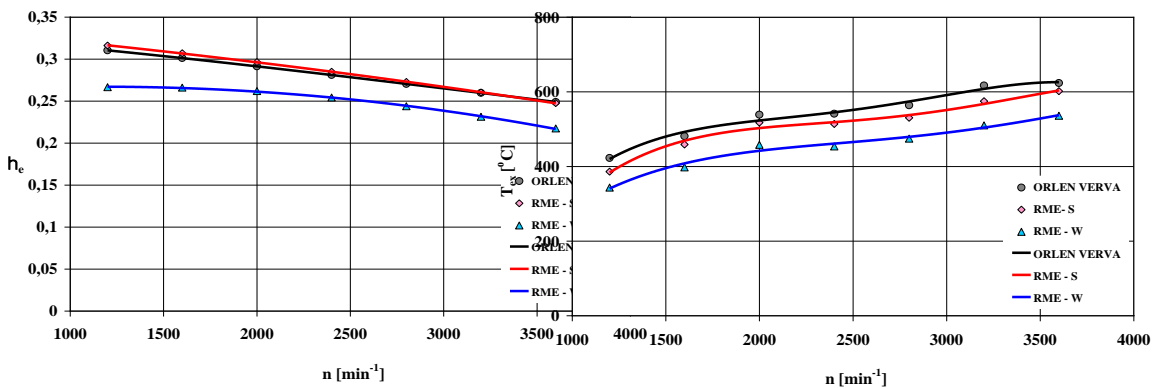
Na rysunkach 7–12 przedstawiono charakterystyki prędkościowe podstawowych wielkości charakteryzujących właściwości silnika:

- energetyczne: moment obrotowy – M_e i moc użyteczną – N_e ,
- ekonomiczne ze względu na zużycie paliwa: sprawność ogólną – η_e ,
- temperaturę spalin – T_{ex} ,
- ekologiczne ze względu na emisję zanieczyszczeń:
 - stężenia substancji szkodliwych dla zdrowia, zawartych w spalinach, mianowicie: objętościowe stężenie tlenu węgla – c_{CO} , objętościowe stężenie węglowodorów – c_{HC} , objętościowe stężenie tlenków azotu – c_{NOx} i masowe stężenie cząstek stałych – c_{PM} ,
 - emisja jednostkowa zanieczyszczeń, mianowicie: tlenu węgla – e_{CO} , węglowodorów – e_{HC} , tlenków azotu – e_{NOx} i cząstek stałych – e_{PM} .



Rys. 7. Charakterystyka prędkościowa: momentu obrotowego – M_e i mocy użytecznej – N_e

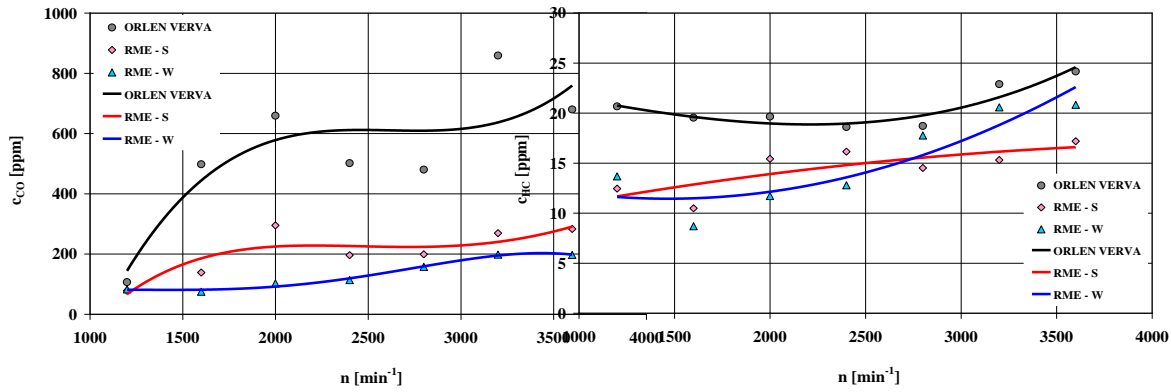
Ze względu na mniejszą wartość opałową biopaliw zarówno moment obrotowy, jak i moc użyteczna silnika zasilanego paliwami RME są mniejsze niż w wypadku zasilania olejem napędowym, jednak różnica dla paliwa letniego jest niewielka, co wynika z większej sprawności ogólnej silnika zasilanego paliwem RME – S w stosunku do sprawności ogólnej silnika pracującego na paliwie RME – W. Wartość maksymalna momentu obrotowego występuje dla prędkości obrotowej równej około 1600 min^{-1} , a największej mocy użytecznej dla 3600 min^{-1} .



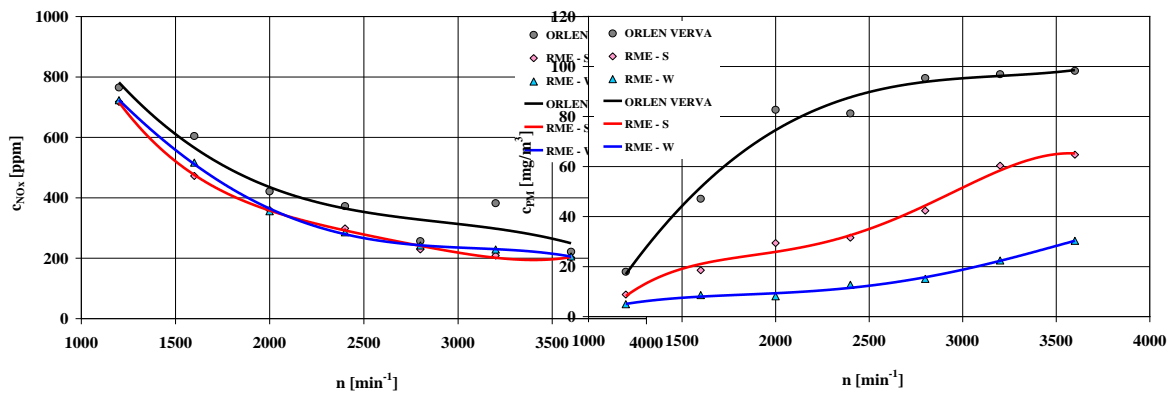
Rys. 8. Charakterystyka prędkościowa: sprawności ogólnej – η_e i temperatury spalin – T_{ex}

Sprawność ogólna dla oleju napędowego i letniego biopaliwa jest zbliżona, natomiast dla paliwa RME – W wyraźnie mniejsza.

Temperatura spalin jest największa dla oleju napędowego, co wynika z większej wartości opałowej tego paliwa w stosunku do wartości opałowej badanych biopaliw, choć zazwyczaj cząsteczkową bliskością tlenu oraz węgla i wodoru, jak ma to miejsce w wypadku estrów olejów, tłumaczy się wysoką temperaturę ich spalania, co ma wpływ na dużą emisję tlenków azotu [6–9, 13, 14, 17–22, 27, 28, 30].

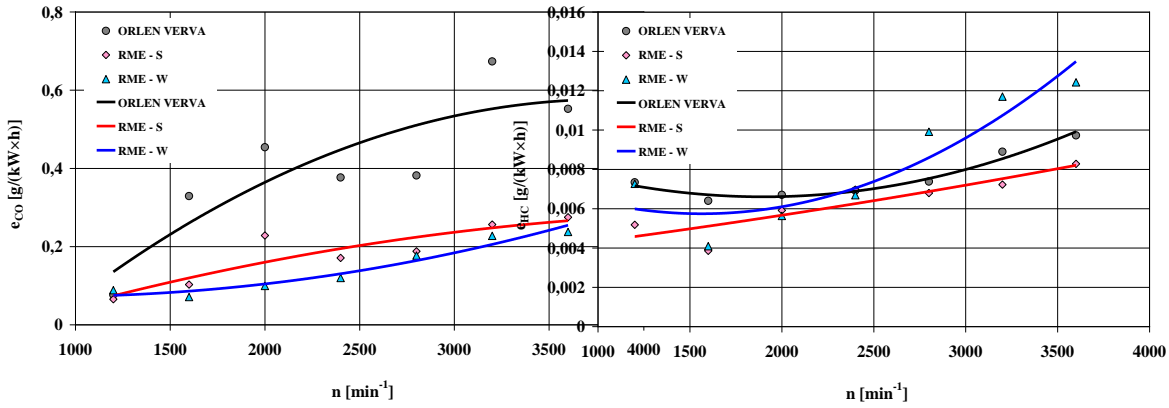


Rys. 9. Charakterystyka prędkościowa: objętościowego stężenia tlenu węgla – c_{CO} i objętościowego stężenia węglowodorów – c_{HC}

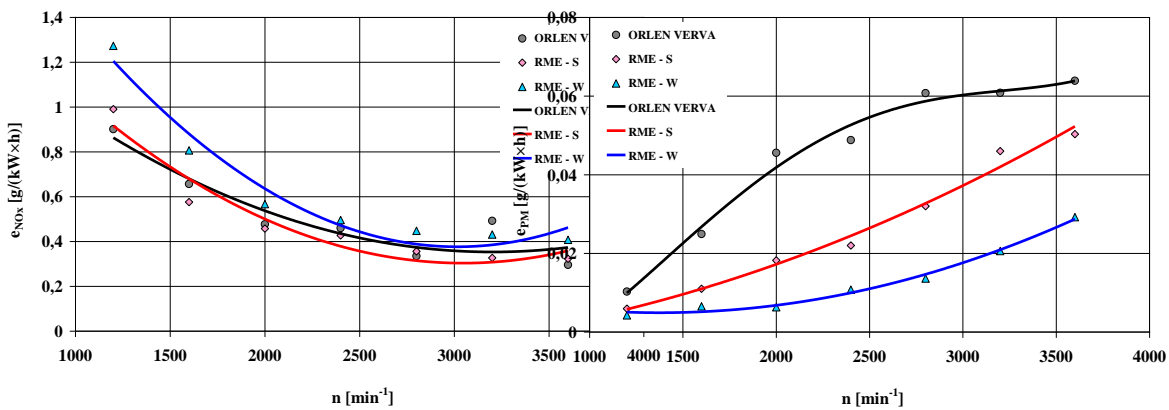


Rys. 10. Charakterystyka prędkościowa: objętościowego stężenia tlenków azotu – c_{NOx} i masowego stężenia cząstek stałych – c_{PM}

Charakterystyki stężeń zanieczyszczeń wykazują niekiedy znaczną nieregularność, utrzymuje się jednak dla biopaliw tendencja mniejszego stężenia tlenu węgla i cząstek stałych, nieznacznie mniejszego stężenia węglowodorów oraz – co nie potwierdza wiele wyników badań [6–9, 13, 14, 17–22, 27, 28, 30] – nie tylko braku zwiększania się stężenia tlenków azotu, ale nawet nieznacznie mniejszych jego wartości.



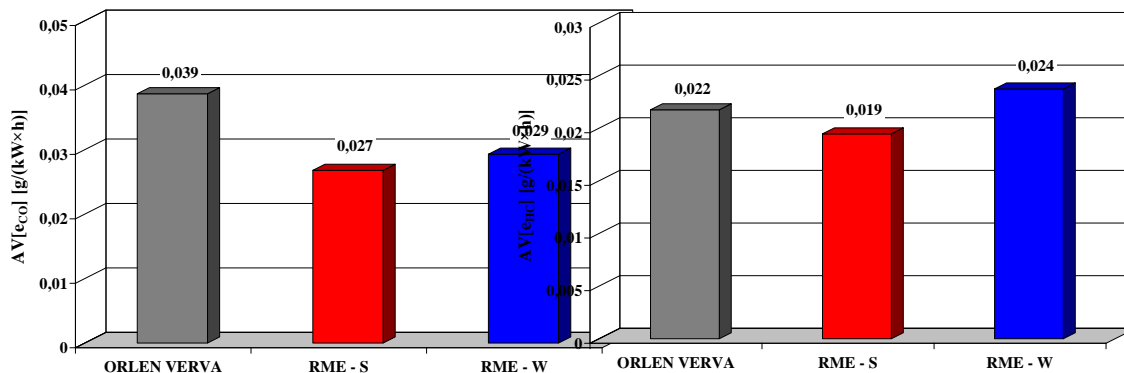
Rys. 11. Charakterystyka prędkościowa: emisji jednostkowej tlenku węgla – e_{CO} i emisji jednostkowej węglowodorów – e_{HC}



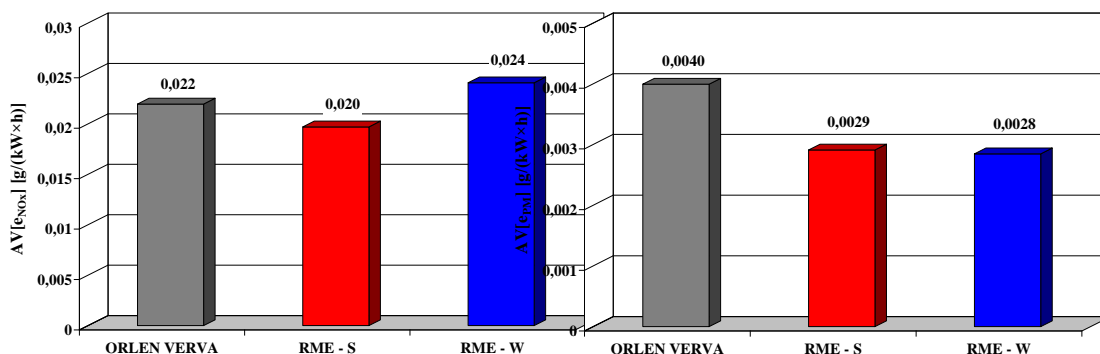
Rys. 12. Charakterystyka prędkościowa: emisji jednostkowej tlenków azotu – e_{NOx} i emisji jednostkowej cząstek stałych – e_{PM}

Emisja jednostkowa tlenku węgla i emisji jednostkowa cząstek stałych są wyraźnie mniejsze dla biopaliw, natomiast dla węglowodorów i tlenków azotu wartości są podobne dla ocenianych paliw.

Na rysunkach 13 i 14 przedstawiono wartość średnią w dziedzinie prędkości obrotowej emisji jednostkowej zanieczyszczeń dla poszczególnych paliw.



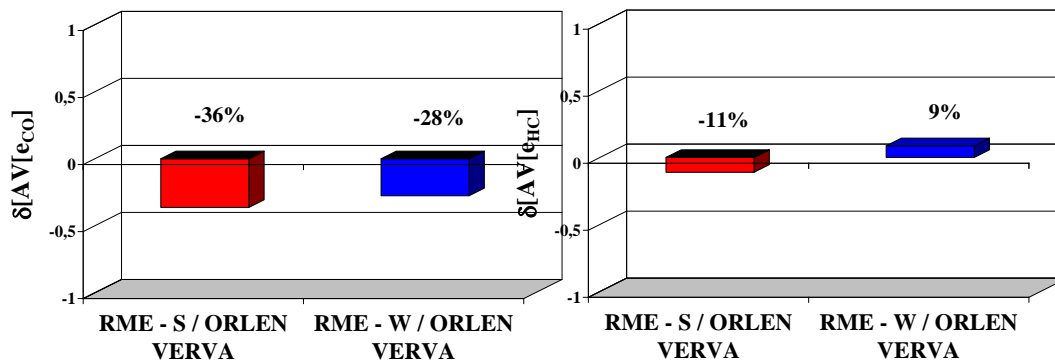
Rys. 13. Wartość średnia w dziedzinie prędkości obrotowej emisji jednostkowej tlenku węgla – AV[e_{CO}] i emisji jednostkowej węglowodorów – AV[e_{HC}]



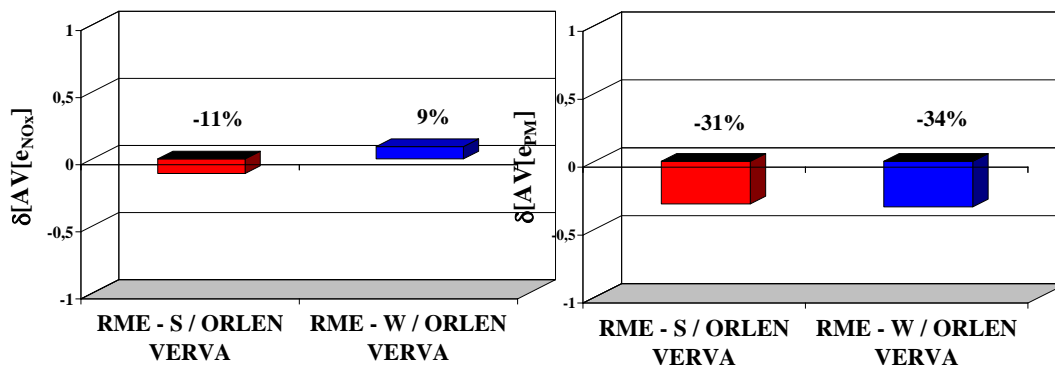
Rys. 14. Wartość średnia w dziedzinie prędkości obrotowej emisji jednostkowej tlenków azotu – AV[e_{NOx}] i emisji jednostkowej cząstek stałych – AV[e_{PM}]

Również w wypadku wartości średniej w dziedzinie prędkości obrotowej emisji jednostkowej zanieczyszczeń – ze względu na rozpatrywane paliwa – największa różnica jest dla tlenku węgla i cząstek stałych. W wypadku tlenku węgla najmniejsza wartość jest dla paliwa RME – S, w wypadku cząstek stałych – dla paliwa RME – W.

Na rysunkach 15 i 16 przedstawiono względną zmianę δ wartości średniej w dziedzinie prędkości obrotowej emisji jednostkowej zanieczyszczeń.



Rys. 15. Względna zmiana – δ wartości średniej w dziedzinie prędkości obrotowej – AV emisji jednostkowej: tlenku węgla – e_{CO} i węglowodorów – e_{HC}



Rys. 16. Względna zmiana – δ wartości średniej w dziedzinie prędkości obrotowej – AV emisji jednostkowej: tlenków azotu – e_{NOx} i cząstek stałych – e_{PM}

Zastosowanie biopaliw powoduje względne zmniejszenie wartości średniej w dziedzinie prędkości obrotowej emisji tlenku węgla i cząstek stałych o około 30%. Dla węglowodorów i tlenków azotu różnica względna wynosi około 10%, przy czym dla paliwa RME – S jest to zmniejszenie emisji jednostkowej, a dla paliwa RME – W – zwiększenie.

3. Podsumowanie

Wyniki przeprowadzonych badań umożliwiają sformułowanie następujących wniosków:

1. Moc użyteczna i moment obrotowy silnika spalinowego są największe w wypadku oleju napędowego, nieznacznie mniejsze są dla biopaliwa letniego, a znacznie mniejsze – dla biopaliwa zimowego.
2. Zastosowanie estrów metylowych oleju rzepakowego spowodowało wymierne zmniejszenie emisji tlenku węgla i cząstek stałych – o około 30%. Dla węglowodorów i tlenków azotu różnica względna wynosi około 10%, przy czym dla paliwa letniego jest to zmniejszenie emisji jednostkowej, a dla paliwa zimowego – zwiększenie. Wynik dla emisji tlenków azotu jest niejednoznaczny, tym bardziej, że temperatura

spalin jest największa dla oleju napędowego, nieznacznie mniejsza dla paliwa RME – S i znacznie mniejsza dla RME – W.

3. Stwierdzono podobną sprawność ogólną silnika spalinowego zasilanego olejem napędowym i letnim biopaliwem. Dla biopaliwa zimowego sprawność ogólna jest wyraźnie mniejsza.

Ogólnie można stwierdzić, że niewielkie różnice w ocenianych właściwościach użytkowych silnika spalinowego zasilanego olejem napędowym oraz estrami metylowymi oleju rzepakowego upoważniają do ostrożnej oceny, iż – w wyniku przeprowadzonych badań – można uznać estry metylowe oleju rzepakowego z dodatkami letnim i zimowym jako paliwa zastępcze oleju napędowego. W celu bardziej wnikliwej oceny przydatności zastosowania estrów metylowych oleju rzepakowego jako paliwa zastępczego oleju silnikowego jest celowe przeprowadzenie badań procesu spalania w cylindrze silnika.

Podziękowanie:

Autorzy artykułu z Politechniki Warszawskiej wrażają swą wdzięczność władzom i pracownikom Uniwersytetu Technologiczno-Humanistycznego im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu, w szczególności dyrektorowi Instytutu Eksploatacji Pojazdów i Maszyn i kierownikowi Zakładu Pojazdów i Silników Samochodowych Panu prof. drowi hab. inż. Sławomirowi Luftowi, a także pracownikowi Zakładu Panu drowi inż. Tomaszowi Skrzekowi za umożliwienie przeprowadzenia dyplomantom badań. Słowa wdzięczności są skierowane również do uczestniczącego w pracach organizacyjnych, związanych z badaniami, pracownika Zakładu Pojazdów i Silników Samochodowych w Instytucie Eksploatacji Pojazdów i Maszyn na Wydziale Mechanicznym Uniwersytetu Technologiczno-Humanistycznego im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu oraz Zakładu Silników Spalinowych Instytutu Pojazdów na Wydziale Samochodów i Maszyn Roboczych Politechniki Warszawskiej dra inż. Grzegorza Pawlaka.

Literatura

1. Ambrozik A, Orliński P, Orliński S. Influence of diesel engine fuelling with different fuels on self-ignition delay in aspect of ecology. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*. 2003; 3: 50–55.
2. AVL: GCA gas exchange and combustion analysis – User's guide.
3. AVL: Product description. Single cylinder research engine.
4. AVL: PUMA open automation platform. Available from: <https://www.avl.com/-/avl-puma-open-automation-platform>. [cited 2015 Jul 11].
5. AVL: Testing solutions. Measure and control. Single cylinder research engines & compact test bed.
6. Chłopek Z. et al.: Research of the influence non-conventional fuels on the pollutant emission from an engine to a generating set. IV International Congress of Internal Engines. Radom 2011.
7. Chłopek Z, Bardziński W, Jarczewski M, Sar H. Influence of fatty acid methyl esters' additive to diesel engine on ecology, fuel consumption and vehicle's performance. *Journal of KONES*. 2006; 1: 261–268.
8. Chłopek Z, Bardziński W, Jarczewski M, Sar H. Emission of pollution from engine powered by the fuel with additive of methyl ester of rape oil in dynamic tests. *Journal of KONES*. 2005: 63–70.

9. Chłopek Z, Bardziński W, Jarczewski M, Sar H. Influence of adding fatty acid methyl esters to the diesel fuel on pollutants emission from diesel engine in dynamic road test cycles. International Congress on Combustion Engines. Szczyrk 2005.
10. Chłopek Z. Ekologiczne aspekty motoryzacji i bezpieczeństwo ruchu drogowego. Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych Politechniki Warszawskiej. Warszawa 2012.
11. Chuepeng S, et al. A study of quantitative impact on emissions of high proportion RME based biodiesel blends. SAE 2007-01-0072.
12. Crookes R J, Korakianitis T, Namasivayam A M. A systematic experimental assessment of the use of rapeseed methyl ester (RME) as a compression ignition engine fuel during conventional and dual-fuel operation. TAE 7th International Colloquium on Fuels. Stuttgart. 2009.
13. Czerwinski J et al. Influences of alternative fuels GTL, RME & ROR on combustion and emissions of a modern HD-diesel engine. Verbrennungsforschung in der Schweiz, BfE Tagung, ETHZ 2009.
14. Hopp M. Untersuchung des Einspritzverhaltens und des thermischen Motorprozesses bei Verwendung von Rapsöl und Rapsmethylester in einem Common-Rail-Dieselmotor. Dissertation. Universität Rostock, 2005. Available from: https://www.avl.com/combustion-measurement1/-/asset_publisher/gYjUpY19vEA8/content/single-cylinder-research-engines-compact-test-bed. [cited 2015 Jul 11]. <https://www.avl.com/documents/10138//885965//AVL+SCRE+ProductDescription+eng+2014.pdf>.
15. Kowalewicz A. Eco-diesel engine fuelled with rapeseed oil methyl ester and ethanol. Part 3: combustion processes. Proc. IMechE, Part D: J. Automobile Engineering. 2006; 220: 1283–1291.
16. Labeckas G, Slavinskas S. The effect of rapeseed oil methyl ester on direct injection diesel engine performance and exhaust emissions. Energy Conversion and Management. 2006; 47: 1954–1967.
17. Mamat R et al. Effect of air intake pressure drop on performance and emissions of a diesel engine operating with biodiesel and ultra low sulphur diesel (ULSD). International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'09). Valencia (Spain). 2009.
18. Marecka-Chłopek E, Chłopek Z. Eksploatacyjne aspekty zastosowania paliw pochodzenia biologicznego do zasilania silników spalinowych. (Operation aspects of biofuels use to supply of internal combustion engines). Transport Samochodowy. 2007; 4: 59–76.
19. Mayer A C R, Czerwinski J, Wyser M. Impact of RME/Diesel Blends on Particle Formation, Particle Filtration and PAH Emissions. SAE 2005-01-1728.
20. Namasivayam A M. Combustion: Performance and emissions characteristics of compression-ignition engines fuelled by sustainable fuels. A thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy to the University of London. School of Engineering and Materials Science Queen Mary University of London. 2011.
21. Nwafor O M I. Emission characteristics of diesel engine operating on rapeseed methyl ester. Renewable Energy. 2004; 29: 119–129.

22. Orliński P. Wybrane zagadnienia procesu spalania paliw pochodzenia roślinnego w silnikach o zapłonie samoczynnym (Selected issues of the combustion of vegetable-derivative fuels in compression ignition engines). Instytut Naukowo-Wydawniczy „SPATIUM”. Radom 2013.
23. Rounce P L. Engine performance and particulate matter speciation for compression ignition engines powered by a range of fossil and biofuels. A thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy. The University of Birmingham. School of Engineering. 2011.
24. Ruan D F, Cheng W L, Lee C F. Comparison of performance and combustion characteristics of diesel fuel and vegetable oils in diesel engine. 2008 SAE International Powertrains, Fuels and Lubricants Congress. Shanghai, China. 2008.
25. Sautman B. Peking man and the politics of paleoanthropological nationalism in China. *The Journal of Asian Studies*. 2001; 60(1): 95–124.
26. Scholz C, Starý P. Experimental study of common rail injection diesel engine fuelled with RME and diesel fuel. XLII International Scientific Conference of Czech and Slovak University Departments and Institutions Dealing with the Research of Combustion Engines. Zilina, Slovakia, 2011.
27. Stępień Z et al. Research on emissions and engine lube oil deterioration of diesel engines with biofuels (RME). SAE 2011–01–1302.
28. Szlachta Z. Zasilanie silników wysokoprężnych paliwami rzepakowymi (Feeding of compression ignition engines with rape fuels). WKŁ. Warszawa 2002.
29. Wellguth G. Performance of vegetable oils and their monoesters as fuels for diesel engines. SAE 831358.
30. Yoshida K et al. Effects of RME30 on exhaust emissions and combustion in a diesel engine. SAE 2008–01–2499.