

MINIMALISATION OF UNFAVOURABLE ASPECTS OF THE OPERATION OF TURBULENCE COMBUSTION CHAMBER ENGINE FED WITH PLANT FUEL BY CHANGING ITS CONTROL PARAMETERS

Tomasz Stoeck

*Szczecin University of Technology
Al. Piastów 19 Street, 70-310 Szczecin, Poland
tel.: +48 091 4494813, fax: +48 091 4494820
e-mail: tstoeck@wp.pl*

Abstract

In recent years intensification has been observed in activities that aim at decreasing the contribution of mineral fuels in global energy system. Directions of the introduced changes refer both to the sector of mass use of electric and thermal energy and the individual consumer who sees in a given problem most often in the aspect of liquid fuel consumption. This has resulted from an unusually dynamic increase in prices of crude oil on the world's markets and a larger and larger demand for products produced from it. Having in mind the international legal regulations that refer to the protection of natural environment, the preservation of energy security or finally the necessity of rational use of the resources of mineral fuels, a larger and larger role in transportation is played by fuels of the plant origin. With respect to this, an alternative for classic fuels is first of all ethyl alcohol for engines with spark ignition and rapeseed methyl esters for engines with compression ignition. Their use seems to be fully justified in case of older motive units for which other solutions would be troublesome or irrational economically and ecologically. At the same time, there is a problem of minimising unfavourable aspects of the operation of engine fed with a fuel with different physicochemical properties when compared with petrol or diesel oil. In the paper is discussed an attempt to cope with these requirements by changing selected control settings of a normally aspirated engine with turbulence combustion chamber, treating rapeseed methyl esters as a self-contained fuel.

Keywords: *combustion engine, plant fuel, control parameters, exhaust gas smokiness*

MINIMALIZACJA NIEKORZYSTNYCH ASPEKTÓW PRACY SILNIKA Z WIROWĄ KOMORĄ SPALANIA ZASILANEGO PALIWEM ROŚLINNYM PRZEZ ZMIANĘ JEGO PARAMETRÓW REGULACYJNYCH

Streszczenie

W ostatnich latach obserwuje się intensyfikację działań mających na celu zmniejszenie udziału paliw kopalnych w globalnym systemie energetycznym. Kierunki wprowadzanych zmian dotyczą zarówno sektora masowego wykorzystania energii elektrycznej i cieplnej, jak również odbiorcy indywidualnego postrzegającego dany problem najczęściej w aspekcie zużycia paliw płynnych. Wynika to z niezwykle dynamicznego wzrostu cen ropy naftowej na rynkach światowych i coraz większym popycie na produkty z niej wytwarzane. Mając na uwadze międzynarodowe regulacje prawne dotyczące ochrony środowiska naturalnego, zachowanie bezpieczeństwa energetycznego czy wreszcie konieczność racjonalnego wykorzystania zasobów kopalnych, coraz większą rolę w transporcie odgrywają paliwa pochodzenia roślinnego. W tym zakresie alternatywę dla paliw klasycznych stanowią przede wszystkim alkohol etylowy do silników o zapłonie iskrowym i ester metylowy oleju rzepakowego do silników o zapłonie samoczynnym. Ich stosowanie wydaje się w pełni uzasadnione w przypadku starszych jednostek napędowych, dla których inne rozwiązania byłyby kłopotliwe lub ekonomicznie i ekologicznie nieracjonalne. Jednocześnie pozostaje problem zmniejszenia niekorzystnych aspektów pracy silnika zasilanego paliwem o odmiennych właściwościach fizykochemicznych w porównaniu z benzyną czy olejem napędowym. W referacie omówiono próbę sprostania tym wymaganiom przez zmianę wybranych nastaw regulacyjnych silnika wolnossącego z wirową komorą spalania, traktując ester metylowy oleju rzepakowego, jako paliwo samodzielne.

Słowa kluczowe: *silnik spalinowy, paliwo roślinne, parametry regulacyjne, zadymienie spalin*

1. Wstęp

Zastosowanie nieprzetworzonego oleju rzepakowego do zasilania standartowych silników o zapłonie samoczynnym nie jest wskazane, co potwierdzają wyniki badań prowadzone od wielu lat w ośrodkach krajowych i zagranicznych. Zdecydowanie lepsze rezultaty uzyskuje się przy wykorzystaniu jego estrów metylowych, których właściwości fizykochemiczne są bardziej zbliżone do tradycyjnych olejów napędowych. Pomimo wzrostu kosztów procesu estryfikacji dąży się również do szerszego zastosowania etanolu lub butanolu, głównie ze względu na większą wartość opałową otrzymywanego produktu. Ma to znaczenie głównie w aspekcie ograniczenia zużycia paliwa, choć w wskazuje się również na redukcję zadymienia i innych związków toksycznych w spalinach [4]. Nie zmienia to jednak faktu, że produkcja paliw pochodzenia roślinnego jest i będzie w dalszym ciągu intensyfikowana. Oprócz czystego estru metylowego oleju roślinnego (RME) w sprzedaży oferuje się jego mieszaniny z olejem napędowym (ON), a niekiedy również dodatkiem odwodnionego etanolu (ETOH). Wprowadzenie ostatniego komponentu ma na celu poprawę właściwości niskotemperaturowych paliwa, które określa się mianem „Bioxdiesel” lub „Bioxydiesel” [2, 3].

Zasilanie silnika o zapłonie samoczynnym paliwem roślinnym lub jego mieszaniną z olejem napędowym, powoduje obniżenie emisji sadzy w spalinach wylotowych. Powstaje ona wskutek braku powietrza w bezpośrednim sąsiedztwie paliwa. Dodatkowa zawartość tlenu w cząsteczkach kwasów tłuszczowych wykorzystywana jest tam, gdzie jej brakuje w komorze spalania [1]. W konsekwencji spada poziom zadymienia spalin, któremu zazwyczaj towarzyszy jednak niewielki wzrost tlenków azotu. Ponadto zasilanie silnika paliwem roślinnym skutkuje spadkiem parametrów dynamicznych jego pracy i zwiększeniem zużycia paliwa, co wynika z mniejszej wartości opałowej w porównaniu do oleju napędowego. Nie rekompensuje tego wyższa lepkość i gęstość estru metylowego oleju rzepakowego, a na dodatek właściwości te mogą wpływać na pogorszenie procesu rozpylenia oraz odparowania paliwa. Chcąc zmniejszyć niekorzystne aspekty pracy jednostki napędowej zasilanej paliwem roślinnym, należałoby przeprowadzić zmianę jej nastaw fabrycznych. W niniejszym referacie przedstawiono wyniki badań uzyskane przy regulacji następujących parametrów: ciśnienia wtrysku (p_{wtr}), kąta wyprzedzenia wtrysku (α_{ww}) oraz objętościowej dawki paliwa (Q_{pal}).

2. Metodyka pomiaru

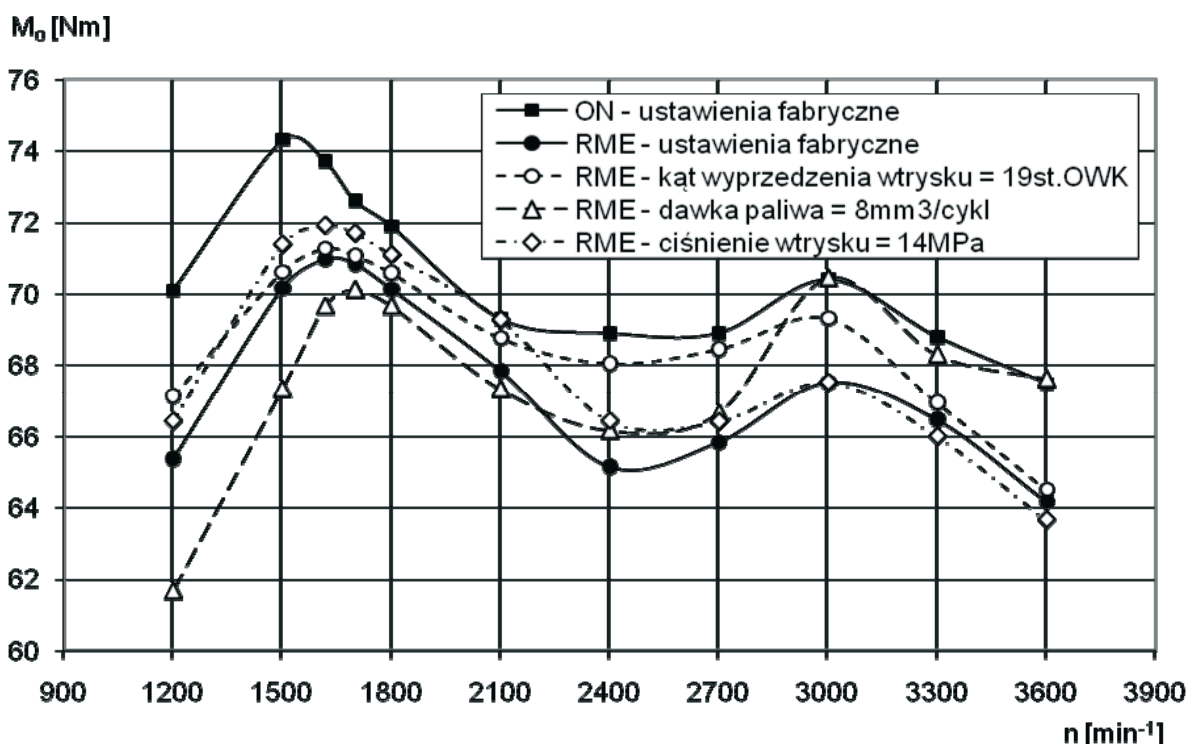
Obiektem badań był czterosurowy, wolnossący silnik o zapłonie samoczynnym typu JK firmy Volkswagen, stosowany powszechnie w modelach Passat. Należy on do jednostek napędowych o wtrysku pośrednim do komory wirowej Ricardo Comet Mark V. W poszczególnych cyklach pomiarowych silnik zasilano estrem metylowym oleju rzepakowego (RME) i porównawczo olejem napędowym (ON). Do tego celu wykorzystano typową hamownię silnikową, wyposażoną między innymi w: hamulec hydrauliczny HH-1, dynamometr, kompletny układ sterujący, tachometr optyczno-stykowy DT-1236L, masową miernicę paliwa oraz dymomierz absorpcyjny MDO2. Wartości nastaw nominalnych aparatury wtryskowej i zakres prowadzonej regulacji przedstawiono w Tab. 1.

Tab. 1. Zmiana parametrów regulacyjnych aparatury wtryskowej silnika typu JK
Tab. 1. Change of the JK engine injection system regulating parameters settings

Adjusted parameter	Nominal value (set)	Remaining setting values
Injection pressure - p_{wtr} [MPa]	13,5	11; 12; 13; 14; 15
Injection advance angle - α_{ww} [$^{\circ}$ OWK]	26	12; 19; 33; 40
Fuel charge - Q_{pal} [mm ³ /cycle]	11	8; 14; 17

3. Wyniki badań

Badania stanowiskowe pozwoliły wyodrębnić optymalne nastawy regulacyjne, przy których parametry pracy silnika zasilanego paliwem roślinnym były bardziej korzystne lub zbliżone do tych, jakie uzyskano dla oleju napędowego i ustawień fabrycznych (nominalnych). Na podstawie przeprowadzonej analizy uznano, że wynoszą one odpowiednio: $\alpha_{ww} = 19^\circ$ OWK przed GMP tłoka, $p_{wtr} = 14$ MPa i $Q_{pal} = 8$ mm³/cykl. Jednoczesna zmiana wszystkich trzech nastaw nie przyniosła spodziewanych rezultatów, gdyż przy nieznacznej poprawie dynamiki silnika, zdecydowanie wzrosło zużycie paliwa, dochodząc do 23% w rejonie wyższych prędkości obrotowych wału korbowego. Niestety zwiększył się również poziom zadymienia spalin w granicach 33-51% w porównaniu do cyklu, gdy jednostkę napędową zasilano olejem napędowym. Z tego powodu postanowiono dokonać wyboru jednej nastawy, która w sposób najbardziej efektywny poprawi przebiegi rozpatrywanych charakterystyk zewnętrznych. Biorąc pod uwagę główne wady wtrysku komorowego, skoncentrowano się w głównej mierze na ekonomiczności pracy badanego silnika, przy utrzymaniu możliwie niskiej zawartości sadzy w spalinach wylotowych.

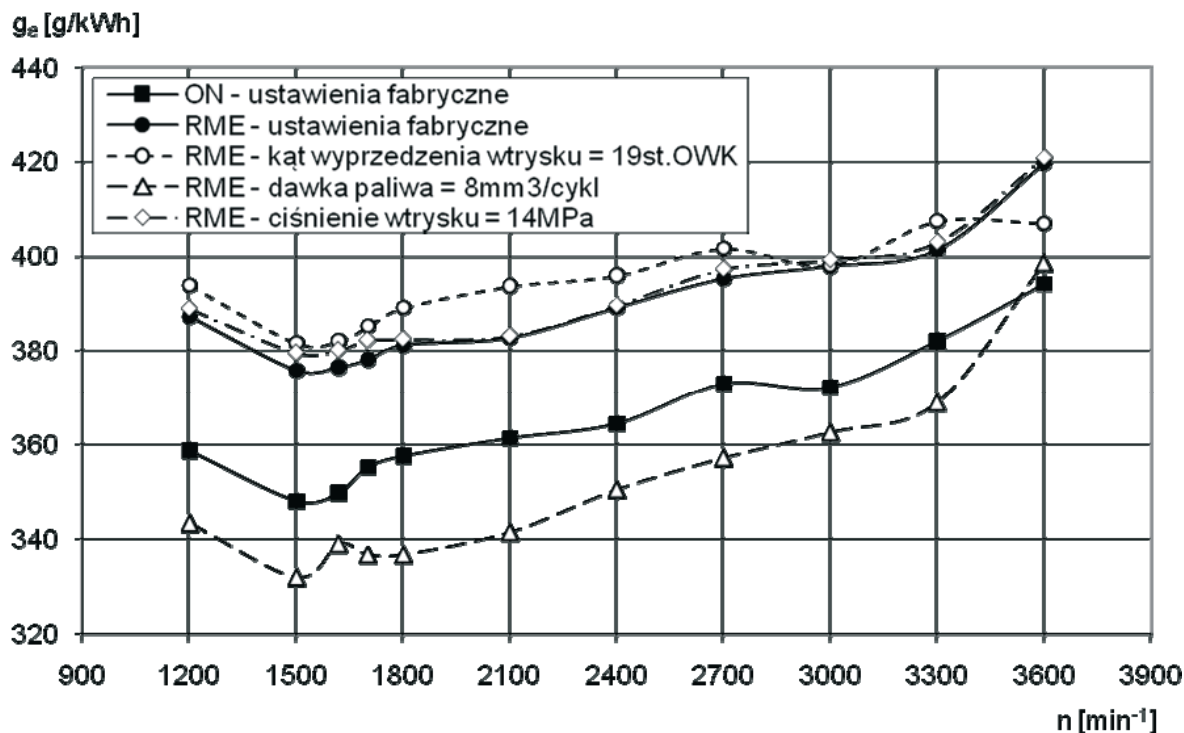


Rys. 1. Zbiorcza charakterystyka zewnętrzna momentu obrotowego silnika typu JK zasilanego ON i RME dla nastaw fabrycznych i optymalnych każdego z regulowanych parametrów

Fig. 1. External cumulative characteristic curve for the torque of the JK-type engine fuelled with ON and RME for factory (nominal) and optimum settings of each of the adjusted parameters

Przebieg momentu obrotowego charakteryzuje się występowaniem dwóch maksimum, z których pierwsze obserwuje się w zakresie 1500-1700 min⁻¹ w zależności od sposobu prowadzonej regulacji, a drugie przy prędkości obrotowej 3000 min⁻¹ (Rys. 1). Porównując poszczególne krzywe można zauważyć, że dla tego parametru pracy silnika zasilanego paliwem roślinnym, najkorzystniej wypadło zmniejszenie kąta wyprzedzenia wtrysku o 7° OWK w stosunku do nastawy nominalnej. Co prawda wzrost momentu obrotowego nie przekroczył 5%, ale wystąpił w całym zakresie rozpatrywanych prędkości obrotowych. Taka regulacja wydaje się być słuszną, gdyż przy większej lepkości estru metylowego oleju rzepakowego czas trwania wtrysku się wydłuża, a szybkość procesu spalania maleje. Warto nadmienić, że wymierne rezultaty w aspekcie dynamicznym uzyskano również przy zwiększeniu kąta wyprzedzenia wtrysku do 40° OWK przed

GMP tłoka. Przy prędkościach obrotowych 1700 min^{-1} i 3000 min^{-1} moment obrotowy osiągnął wartości wynoszące $78,2 \text{ Nm}$ i $76,1 \text{ Nm}$. Niestety ze względu na znaczny wzrost zużycia paliwa i poziomu zadymienia spalin, nastawa ta nie została zakwalifikowana do grupy optymalnych.



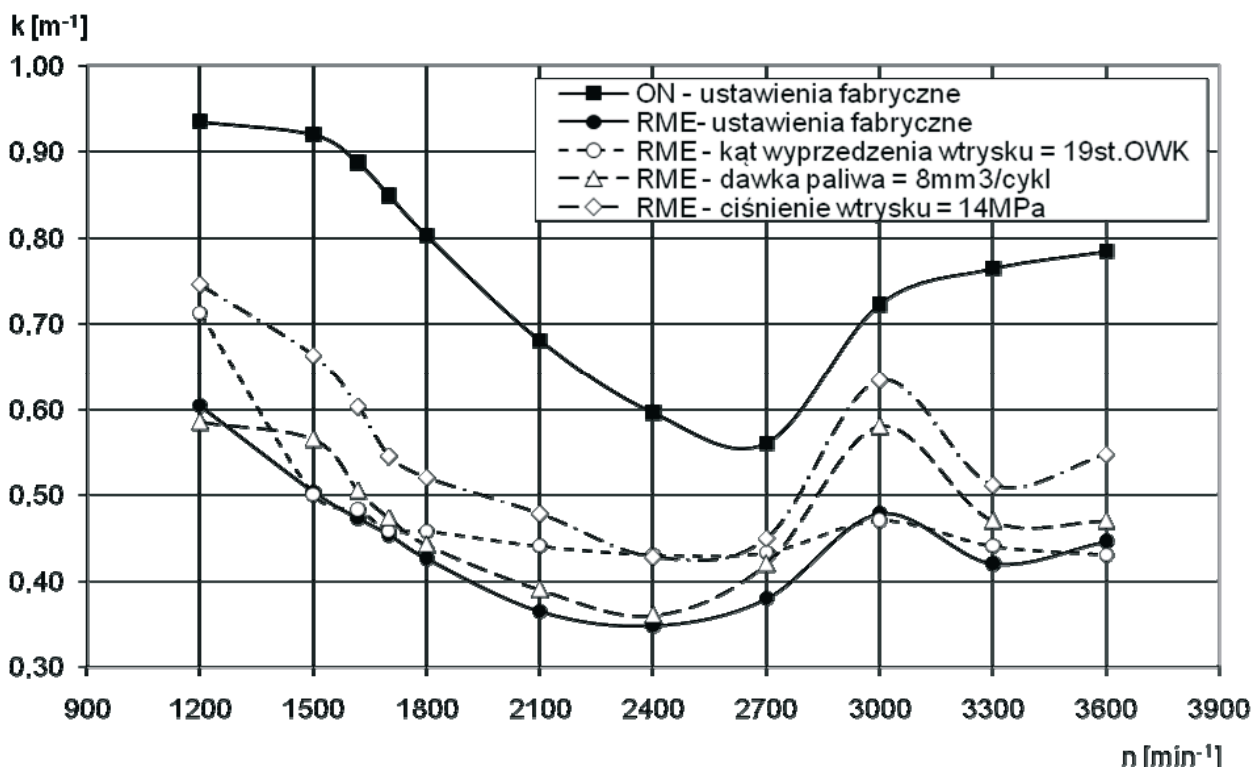
Rys. 2. Zbiorcza charakterystyka zewnętrzna jednostkowego zużycia paliwa silnika typu JK zasilanego ON i RME dla nastaw fabrycznych i optymalnych każdego z regulowanych parametrów

Fig. 2. External cumulative characteristic curve for the unitary fuel consumption of the JK-type engine fuelled with ON and RME for factory (nominal) and optimum settings of each of the adjusted parameters

Najbardziej efektywną regulacją z punktu widzenia jednostkowego zużycia okazała się zmiana, która polegała na zmniejszeniu objętościowej dawki paliwa o $3 \text{ mm}^3/\text{cykl}$ (Rys. 2). Dla tej nastawy wartości rozpatrywanego parametru pracy były zdecydowanie najniższe. Jedynie przy maksymalnej prędkości obrotowej 3600 min^{-1} jednostkowe zużycie paliwa silnika zasilanego paliwem roślinnym wzrosło o $4,5 \text{ g/kWh}$ w porównaniu do kompletacji oleju napędowego i nastawy zalecanej przez producenta. Pozostała grupa krzywych ma charakter bardzo zbliżony w swym przebiegu, stąd trudno wskazać na celowość prowadzenia alternatywnej regulacji dla parametrów, które wcześniej uznano za optymalne. Z kolei bardzo interesujące wyniki uzyskano przy zwiększeniu ciśnienia wtrysku do 15 MPa , czyli ustawienia skrajnego nie przedstawionego na powyższej charakterystyce zbiorczej. Dzięki tej nastawie jednostkowe zużycie paliwa spadło do poziomu, który obserwowano przy zasilaniu silnika olejem ropopochodnym, np. osiągając przy prędkości obrotowej 1200 min^{-1} wartość 360 g/kWh . Analiza pozostałych parametrów pracy, w tym mocy efektywnej, momentu obrotowego i współczynnika absorpcji promieniowania podczerwonego sprawiła, że ustawienie to pominięto w dalszych rozważaniach.

W ujęciu ekologicznym żaden z proponowanych sposobów regulacji nie przyniósł wymiernych korzyści (Rys. 3). Decydującą rolę odegrał rodzaj stosowanego paliwa, gdyż przy ustawieniach zalecanych przez producenta, różnice między krzywymi były zdecydowanie największe. W rejonie niskich prędkości obrotowych zadymienie spalin silnika zasilanego olejem napędowym wzrosło nawet o 45% w porównaniu do sytuacji, gdy jako samodzielne paliwo stosowano ester metylowy oleju rzepakowego. Powyżej 2400 min^{-1} wartości współczynnika absorpcji stabilizują się na określonym poziomie (niezależnie od wartości bezwzględnej), co obserwuje się również dla pozostałych krzywych i świadczy o mniejszym wpływie rodzaju prowadzonej regulacji.

Zdecydowanie istotniejsze znaczenie mają specyficzne właściwości fizykochemiczne paliwa roślinnego, w szczególności dodatkowe wiązania tlenowe i śladowa zawartość siarki. Z uwagi na odmienny sposób przygotowania mieszaniny palnej w silnikach z komorą wirową, układem hydraulicznym wtrysku nie stawia się tak wysokich wymagań, jak to ma miejsce w przypadku wtrysku bezpośredniego [1]. Stąd też zwiększanie ciśnienia do 14 MPa i więcej, nie przyczyniło się do spadku zadymienia spalin, bez względu na rodzaj paliwa stosowanego podczas badań. Zmieniając nastawy fabryczne zaleca się więc utrzymywać zadowalający poziom współczynnika absorpcji promieniowania podczerwonego, przy poprawie innych parametrów pracy jednostki napędowej.



Rys. 3. Zbiorcza charakterystyka zewnętrzna zadymienia spalin silnika typu JK zasilanego ON i RME dla nastaw fabrycznych i optymalnych każdego z regulowanych parametrów

Fig. 3. External cumulative characteristic curve for the exhaust gases smokiness of the JK-type engine fuelled with ON and RME for factory (nominal) and optimum settings of each of the adjusted parameters

4. Podsumowanie

Przeprowadzone badania stanowiskowe wykazały, że przy zasilaniu silnika z wirową komorą spalania estrem metylowym oleju rzepakowego, należałoby zmniejszyć objęściową dawkę paliwa do wartości 8 mm³/cykl. Regulację tą uznano za najbardziej optymalną ze względu na bardzo niskie jednostkowe i godzinowe zużycie paliwa, przy niewielkim poziomie zadymienia spalin wylotowych. Wzrost parametrów dynamicznych nastąpił dopiero powyżej prędkości obrotowej 2700 min⁻¹, ale uzyskane wartości zbliżone były do tych, jakie odnotowano przy zasilaniu silnika olejem napędowym.

Interesującą alternatywą dla powyższej regulacji może być zmniejszenie kąta wyprzedzenia wtrysku do 19° OWK przed GMP tłoka. Dzięki temu w całym zakresie prędkości obrotowych nastąpił odczuwalny wzrost momentu obrotowego i mocy efektywnej w stosunku do ustawień zalecanych przez producenta. W takim przypadku należy się jednak liczyć z prawie 10% wzrostem zużycia paliwa dla silnika zasilanego paliwem roślinnym.

Literatura

- [1] Merkisz, J., *Ekologiczne problemy silników spalinowych*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Tom 2, pp. 74-76, Poznań 1999.
- [2] Sitnik, L. J.: *Ekopaliwa silnikowe*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, pp.176-178, Wrocław 2004.
- [3] Stoeck, T., *Wpływ zmiany właściwości oleju silnikowego na zadymienie spalin w silnikach o zapłonie samoczynnym*, Wydawnictwo Autobusy Sp. z o. o, pp. 22-23, Radom 5/2004.
- [4] Szlachta, Z., *Zasilanie silników wysokoprężnych paliwami rzepakowymi*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, pp. 23-24, Warszawa 2002.