

MIROSLAW KARCZEWSKI, MICHAŁ WILK*

PROBLEMY ZASILANIA SILNIKA G9T PALIWEM F-34 ORAZ JEGO MIESZANINAMI Z BIOKOMPONENTEM

DELIVERY PROBLEMS IN A G9T ENGINE SUPPLIED WITH THE FUEL F-34 AND ITS BICOMPONENT MIXTURES

Streszczenie

Celem badań było określenie wpływu paliwa zasilającego silnik na parametry użyteczne i skład spalin silnika o zapłonie samoczynnym Renault G9T. Badania przeprowadzono podczas zasilania silnika sześcioma rodzajami paliwa: paliwem podstawowym, jakim był olej napędowy, paliwem lotniczym o kodzie NATO F-34, mieszaninami paliw: F-34 i estrów metylowych wyższych kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że parametry silnika Renault G9T z wysokociśnieniowym układem wtrysku zasilanego paliwem F-34 i mieszanin uległy częściowo zmianie w stosunku do podstawowego paliwa, jakim był olej napędowy.

Słowa kluczowe: silnik spalinowy, układ zasilania, paliwo F-34, estry

Abstract

The assessment of the influence of kind of fuel supplied diesel engine Renault G9T on its useful parameters and exhaust gas composition was the aim of investigations. The investigations were made while the engine was feeding six kinds of the fuel: diesel fuel as a basic fuel, single fuel the NATO code F-34, the mixture of fuels: F-34 and the methyl esters of higher acids rape oil of the rapeseed. As the result of made investigations was state, that the parameters of engine Renault G9T with the high pressure injection system supplying the fuel F-34 and the mixture of fuels were partly changed in the relation to the basic fuel what there was the diesel oil.

Keywords: combustion engine, fuel system, F-34 fuel, ester

* Dr inż. Mirosław Karczewski, mgr inż. Michał Wilk, Katedra Pojazdów Mechanicznych i Transportu, Wydział Mechaniczny, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa.

1. Wstęp

Problemy dostarczenia odpowiedniej ilości oraz jakości paliwa do zasilania silników pojazdów wojskowych narastały wraz ze wzrostem liczby wykorzystywanych pojazdów oraz koniecznością zasilania ich różnymi rodzajami paliw. W efekcie zdecydowano się ujednoczyć paliwa do silników tłokowych i turbinowych pojazdów oraz samolotów stacjonujących na lądzie. Wprowadzono paliwo oznaczone symbolem F-34/35, które ma identyczną bazę jak paliwo lotnicze JET-A1, a różnice właściwości wynikają jedynie z działania dodatków wprowadzanych przed tankowaniem. Paliwo to może być używane do zasilania silników o zapłonie samoczynnym z pompami tłoczkowymi, rzędownymi oraz rozdzielaczowymi [2]. Jednak w obecnie produkowanych pojazdach zaczynają dominować silniki o zapłonie samoczynnym wyposażone w elektroniczne układy wtryskowe z pompowtryskiwaczami lub zasobnikami paliwa (*Common Rail*), które charakteryzują się dużo wyższym ciśnieniem wtrysku, sięgającym 140–220 MPa, w porównaniu z konwencjonalnymi układami wtryskowymi.

Istotnym problemem przy zasilaniu współczesnych silników spalinowych jest również planowane zastosowanie biokomponentów w paliwach, które zmieniają właściwości paliw podstawowych. Reguluje je Dyrektywa Parlamentu Europejskiego nr 2003/30/EC z dnia 8 maja 2003 r. w sprawie promocji biopaliw oraz odnawialnych źródeł energii dla celów transportowych. Dyrektywa ta określa:

- minimalny udział biopaliw w ogólnej ilości paliwa na rynku od 2% w 2005 r.,
- coroczny wzrost tego udziału o 0,75%, do poziomu 5,75% w 2010 r.

Problem paliw odnawialnych nabiera coraz większego znaczenia na świecie, jak również w Polsce. Najbardziej znaczący producenci prowadzą intensywne prace nad przystosowaniem silników do zasilania biopaliwami tak, aby nie ustępowały one trwałością i niezawodnością silnikom zasilanym paliwami standardowymi. Koncern Renault uznał, że zasilanie silników biopaliwami jest najbardziej ekonomicznym i skutecznym sposobem ograniczenia emisji CO₂ w perspektywie średnioterminowej. Zgodnie z tym koncern ten zobowiązał się do wprowadzenia w 2009 r. pojazdów zasilanych biopaliwami w cenie porównywalnej z modelami napędzanymi silnikami o zapłonie iskrowym i samoczynnym. Również szwedzkie koncerny, takie jak Volvo i Saab, są mocno zaangażowane w opracowanie silników zasilanych biopaliwami. Podobnie postępują i inni producenci.

Ze względów klimatycznych w Polsce najkorzystniejsza jest produkcja biopaliwa do silnika o zapłonie samoczynnym pochodzącego z przeróbki rzepaku i dlatego w tym kierunku przeprowadzono wiele prac badawczych.

Celem niniejszego artykułu było określenie wpływu zasilania silnika z wysokociśnieniowym układem wtryskowym typu *Common Rail* czystym paliwem F-34 oraz jego mieszaninami z estrem oleju rzepakowego na parametry jego pracy i porównanie ich z parametrami silnika zasilanego olejem napędowym.

2. Wybrane właściwości badanych paliw

Na podstawie porozumienia standaryzacyjnego do zasilania silników o zapłonie samoczynnym pojazdów użytkowanych przez wojska NATO przyjęto paliwo F-34, które jest także bazą do paliwa F-35 stosowanego do zasilania silników turbinowych samolotów

stacjonujących na lądzie (wymagane jest dodanie jedynie odpowiednich dodatków). Jedynie samoloty stacjonujące na pokładach okrętów państw NATO zasilane są paliwem o kodzie F-75.

Paliwo F-34 ma mniejszą gęstość w stosunku do oleju napędowego. W wyniku tego zmniejsza się masowo dawka paliwa dostarczona do silnika. W silnikach z wtryskiem bezpośrednim zauważono zmniejszenie mocy maksymalnej w zakresie 2–5%, natomiast w silniku z komorą wirową osiągi silnika pozostały praktycznie takie same [2]. Lepkość paliwa F-34 jest prawie dwukrotnie mniejsza w stosunku do oleju napędowego, co przyczynia się do większych przecieków w rurociągach i aparaturze wtryskowej, szczególnie tej używanej wcześniej na oleju napędowym.

Paliwo F-34 ma korzystne właściwości rozruchowe w niskiej temperaturze. Temperatura zablokowania zimnego filtra wynosi -54°C , a temperatura wrzenia nie przekracza 240°C . Paliwo to jest zatem dobrze rozpylane i odparowane w niskiej temperaturze. Jednakże posiada niższą liczbę cetanową ($LC = 45$, wobec $LC = 50$ dla ON), co wydłuża opóźnienie samozapłonu i wpływa na pogorszenie jego właściwości rozruchowych.

Paliwo pochodzenia rzepakowego jest najbardziej rozpowszechnionym biopaliwem do silników o zapłonie samoczynnym w Polsce, przy czym może być stosowane w postaci:

- naturalnego oleju rzepakowego,
- estrów metylowych kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego (EMKOR lub RME).

Naturalny olej rzepakowy cechuje się kilkunastokrotnie wyższą lepkością i znacznie gorszą lotnością, co w praktyce uniemożliwia jego bezpośrednie zastosowanie jako paliwa do silnika o zapłonie samoczynnym. Po modyfikacji chemicznej w procesie transestryfikacji otrzymuje się właściwości zbliżone do oleju napędowego (tab. 1).

Tabela 1

Wybrane własności fizykochemiczne oleju napędowego IZ-40, estrów metylowych kwasów tłuszczowych oraz paliwa F-34

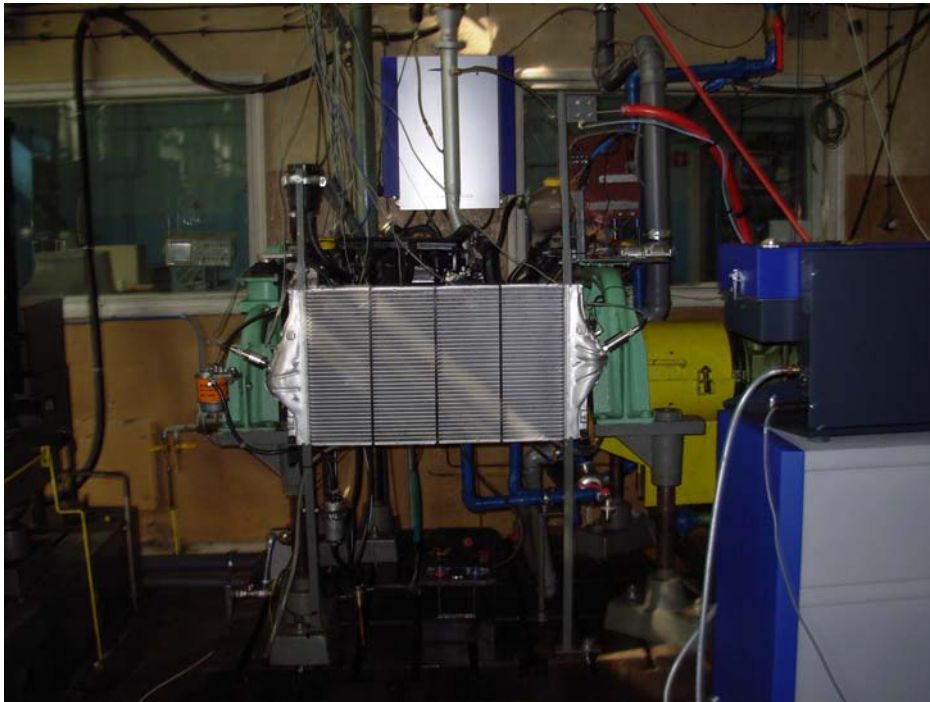
Parametr	Jednostka miary	ON IZ-40	RME	Paliwo F-34
Gęstość w temp. 15°C	g/cm^3	0,831	0,860–0,9	0,804
Wartość opałowa	MJ/kg	43,2	37–39	42,8
Temperatura zapłonu	$^{\circ}\text{C}$	66	166–186	57
Temperatura zablokowania zimnego filtra	$^{\circ}\text{C}$	–31	–5– –13	–54
Lepkość kinematyczna w 40°C	mm^2/s	2,35	4,0–6,3	1,27
Zawartość siarki	mg/kg	350	10–25	0,3 (% mas.)
Liczba cetanowa	–	50	49–56	45
Przebieg destylacji:				
– początek	$^{\circ}\text{C}$	178	300	167
– 50%		255	339	202
– koniec		353	360	238

3. Obiekt, metodyka i zakres badań

Obiektem badań był czterocylindrowy silnik o zapłonie samoczynnym Renault G9T, o mocy 95 kW przy $n = 2500$ obr./min i o momencie 280 Nm przy 1750 obr./min, stosowany do napędu samochodów dostawczych tej firmy. Jest to czterocylindrowy silnik z bezpośrednim wtryskiem paliwa do toroidalnej komory spalania, wyposażony w wysoko-ciśnieniowy wtrysk paliwa z podłużnego zasobnika. Silnik jest doładowany za pomocą turbosprężarki z chłodzeniem powietrza (rys. 1). Zestaw dwóch wentylatorów za chłodnicą powietrza umożliwiał sterowanie temperaturą powietrza w układzie dolotowym silnika.

Silnik był wyposażony w układ zasilania typu *Common Rail*, produkcji Bosch, składający się z następujących zespołów:

- sterownika EDC 15C3-2.1,
- pompy zasilającej EKP3,
- pompy wysokiego ciśnienia CR/CP153/R65/10-165,
- wtryskiwaczy CR/IP517.



Rys. 1. Silnik G9T na stanowisku badawczym

Fig. 1. The G9T diesel engine on the test stand

Badania przeprowadzono przy zasilaniu silnika następującymi rodzajami paliwa:

- olejem napędowym ON,
- paliwem F-34,

- mieszaninami paliwa F-34 i estrów metylowych wyższych kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego oznaczonymi jako B-20, B-40, B-60 i B-80, gdzie cyfra po literze B oznacza masowy udział estrów metylowych w mieszaninie.

Badania przeprowadzono w stanach ustalonych pracy silnika, zmieniając jego obciążenie przy prędkościach: 1000, 1500, 2000, 2500, 3000 i 3500 obr./min. Mierzono parametry użyteczne pracy silnika, temperaturę (cieczy chłodzącej, oleju, spalin przed i za turbosprężarką, przed i za zaworem EGR, powietrza przed i za chłodnicą powietrza oraz w kolektorze dolotowym), ciśnienie powietrza przed i za chłodnicą powietrza, udziały związków w spalinach: CO₂, CO, HC, NO_x oraz zadymienie spalin.

4. Wyniki badań

Badaniami objęto paliwo F-34 i mieszaniny paliwa F-34 z estrami metylowymi wyższych kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego. W ramach przeprowadzonych badań rozpoznawczych silnika G9T wykonano charakterystyki obciążeniowe silnika dla prędkości obrotowych 1500 i 3000 obr./min, zmieniając jego obciążenie od minimalnego do maksymalnego, z krokiem co 30 Nm (dla poszczególnych paliw). Przy doborze wybranych prędkości obrotowych kierowano się warunkami, w jakich silnik najczęściej jest eksploatowany oraz w jakich osiąga maksymalne wartości parametrów pracy.

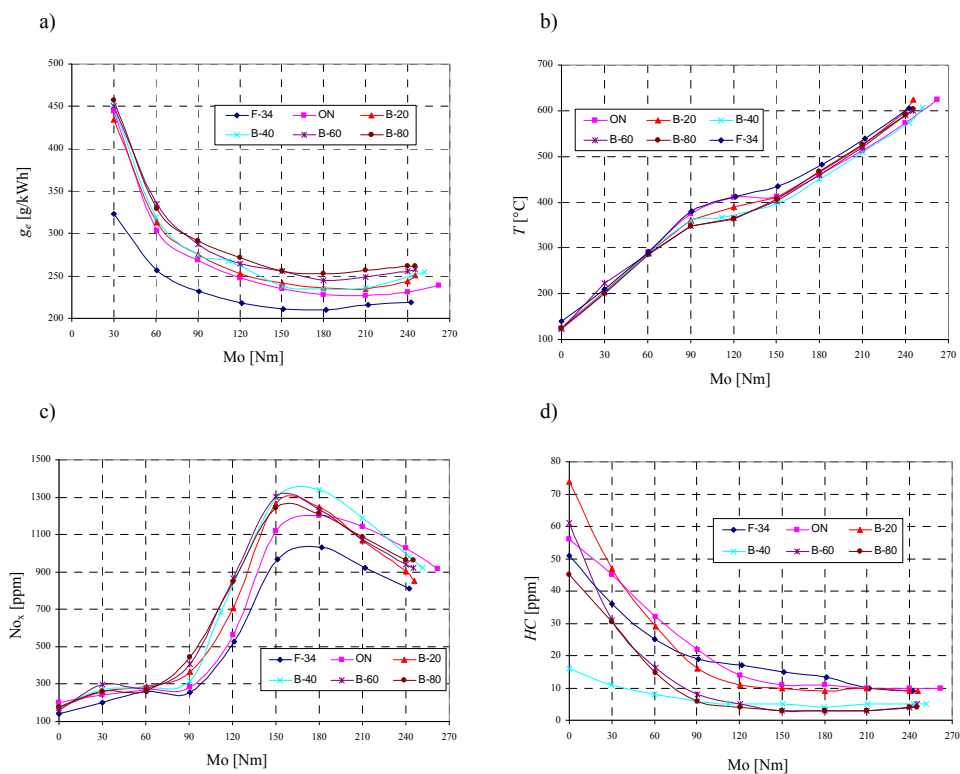
Analiza wyników badań pozwoliła ustalić, że występuje wpływ poszczególnych rodzajów paliw na parametry użyteczne silnika i udział składników spalin. Na rysunkach 2 i 3 przedstawiono wyniki pomiarów przy wybranych wartościach prędkości obrotowej silnika. Przy analizie uwzględnione zostały również wyniki badań uzyskane przy maksymalnym obciążeniu.

Podczas badań stwierdzono obniżenie maksymalnej mocy silnika od 3% do 10% dla poszczególnych paliw w stosunku do ON. Niemożliwe okazało się uzyskanie pełnej mocy silnika zasilanego paliwem F-34. Przy maksymalnym obciążeniu następowało samoczynne wyłączenie silnika dla prędkości obrotowych powyżej 2500 obr./min. Silnik G9T jest wyposażony w wysokociśnieniowy układ wtryskowy i powyższe zjawisko może być podyktowane trudnościami utrzymania odpowiednio wysokiego ciśnienia w układzie wtryskowym (niższa lepkość paliwa F-34). Zjawisko to będzie przebadane podczas dalszej analizy wpływu paliw na właściwości użytkowe wtryskiwaczy i pompy wysokiego ciśnienia. Maksymalny moment obrotowy dla badanych paliw był nieznacznie niższy – o ok. 5% – w stosunku do ON.

Średnio jednostkowe zużycie dla paliwa F-34 przy prędkości 1500 obr./min okazało się niższe o ok. 10% w stosunku do ON, natomiast dla mieszanin paliwa F-34 i estrów metylowych – nieznacznie wyższe od 3% do 10% w stosunku do ON. Dla prędkości obrotowej 3000 obr./min odnotowano spadek jednostkowego zużycia paliwa F-34 o ok. 4% i wzrost dla mieszanin paliwa F-34 i estrów metylowych o ok. 2–3%.

Temperatura spalin była nieznacznie wyższa (do 4%) przy zasilaniu silnika paliwem F-34 dla prędkości obrotowej silnika 1500 obr./min, natomiast dla mieszanin paliwa F-34 i estrów metylowych odnotowano spadek (o ok. 5–7%) w średnim zakresie obciążenia. Największe różnice wystąpiły w zakresie 90–150 Mm i jest to związane z wyłączeniem się zaworu EGR.

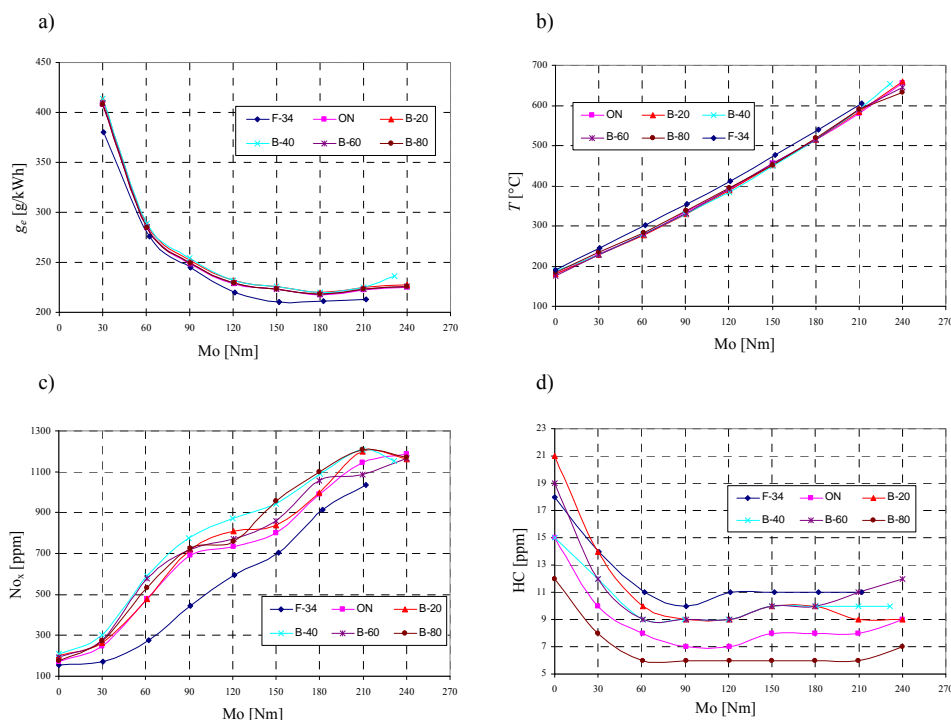
Udziały węglowodorów w spalinach silnika zasilanego paliwem F-34 były niższe do 20% dla małych obciążeń przy prędkości obrotowej $n = 1500$ obr./min. Natomiast dla mieszanin odnotowano spadek zawartości węglowodorów w spalinach do 60%. Niższy udział HC w spalinach przy zasilaniu silnika paliwem B-80 jest wynikiem jego dokładniejszego spalania, co jest związane z zawartością tlenu w paliwie. Jednak w porównaniu z olejem napędowym udziały węglowodorów dla pozostałych paliw były zdecydowanie wyższe o ok. 25–35% dla prędkości $n = 3000$ obr./min.



Rys. 2. Zmiany parametrów pracy silnika w funkcji obciążenia silnika przy prędkości $n = 1500$ obr./min: a) jednostkowe zużycie paliwa, b) temperatura spalin za turbiną, c) udziały tlenków azotu, d) udziały węglowodorów

Fig. 2. The engine work parameters versus engine load at constant speed $n = 1500$ rpm:
a) specific fuel consumption, b) exhaust gas temperature over turbocompressor,
c) volume fraction of Nitric Oxide, d) volume fraction of Hydrocarbons

Udziały NO_x w spalinach dla F-34 był niższy do 20% dla większego obszaru pola pracy silnika. Natomiast w przypadku mieszanin paliwa F-34 z estrami metylowymi udziały NO_x okazały się wyższe nawet do 50% w stosunku do paliwa podstawowego, jakim jest olej napędowy.



Rys. 3. Zmiany parametrów pracy silnika w funkcji obciążenia silnika przy prędkości $n = 3000$ obr./min: a) jednostkowe zużycie paliwa, b) temperatura spalin za turbinią, c) udziały tlenków azotu, d) udziały węglowodorów

Fig. 3. The engine work parameters versus engine load at constant speed $n = 3000$ rpm: a) specific fuel consumption, b) exhaust gas temperature over turbocompressor, c) volume fraction of Nitric Oxide, d) volume fraction of Hydrocarbons

5. Wnioski

1. Przy zasilaniu silnika Renault G9T z wysokociśnieniowym układem wtryskowym badanymi paliwami alternatywnymi parametry użyteczne uległy istotnej zmianie w stosunku do parametrów silnika przy zasilaniu ON.
2. Jednostkowe zużycie paliwa było niższe do 10% dla paliwa F-34, zwłaszcza w niższym zakresie obciążeń. Natomiast dla mieszanin paliwa F-34 i estrów metylowych g_e jest nieznacznie wyższe, od 3% do 10%.
3. Udział węglowodorów w spalinach silnika zasilanego paliwem F-34 był niższy do 20%, natomiast dla mieszanin odnotowano spadek do 60% dla 1500 obr./min. W przypadku prędkości 3000 obr./min przy zasilaniu silnika paliwem B-80 widoczny był niższy udział węglowodorów (do 25%).

4. Dotychczasowe badania wskazują korzystny wpływ udziału paliw pochodzenia roślinnego na parametry pracy silnika oraz emisję związków toksycznych w spalinach. W związku z powyższym celowe jest prowadzenie dalszych badań z zastosowaniem paliwa F-34 z różnym udziałem estrów metylowych wyższych kwasów tłuszczowych.
5. W celu uzyskania porównywalnego momentu obrotowego i mocy silnika przy zasilaniu paliwami alternatywnymi konieczne jest dodatkowe oprzyrządowanie umożliwiające dokładne odwzorowanie procesu spalania. Niewykluczona jest przy tym konieczność zwiększenia ciśnienia w zasobniku paliwa lub przeprogramowania jego sterownika.

Literatura

- [1] Ambrozik A., Kruczyński S., Jakubiec J., Orliński S., *Wpływ zasilania silnika spalinowego o zapłonie samoczynnym paliwem mineralnym i roślinnym na proces wtrysku oraz rozpad strugi paliwa*, Journal of KONES Powertrain and Transport. European Science Society of Powertrain and Transport Publications, Vol. 13, No. 3, Warszawa 2006.
- [2] Baczewski K., Kałdoński T., Walentynowicz J., *Problems with introducing a single fuel concept in the land forces*, WAT, Warszawa 2003.
- [3] Baczewski K., Kałdoński T., *Paliwa do silników o zapłonie samoczynnym*, WKiŁ, Warszawa 2004.
- [4] Kałużyński M., Reksa M., Zarudzka E., *Wpływ dodatków estrów metylowych na właściwości biodiesla i toksyczność spalin silnika Diesla*, Journal of KONES Powertrain and Transport. European Science Society of Powertrain and Transport Publications, Vol. 13, No. 4, Warszawa 2006.
- [5] Szlachta Z., *Zasilanie silników wysokoprężnych paliwami rzepakowymi*, WKiŁ, Warszawa 2002.
- [6] Walentynowicz J. i in., *Dobór paliw zastępczych do silników pojazdów wojskowych*, raport z realizacji Projektu Badawczego Grant nr OT00A00713.
- [7] *Wprowadzenie koncepcji jednolitego paliwa F34/35 w wojskach lądowych NATO*, aneks do raportu AC12(NF&LWG)D14 z 10.07.1998.
- [8] Karczewski M., Walentynowicz J., *Wstępne wyniki badań silnika G9T zasilanego paliwem f-34 oraz jego mieszaniną z biokomponentem*, Journal of KONES Powertrain and Transport. European Science Society of Powertrain and Transport Publications, Vol. 14, No. 3, Warszawa 2007.