

INTRODUCTORY INVESTIGATION OF DIESEL ENGINE G9T SUPPLIED FUEL F-34 AND BIOFUEL

Mirosław Karczewski, Jerzy Walentynowicz

Military University of Technology
Faculty of Mechanical Engineering
Gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warsaw, Poland
tel. +48 22 683-77-54, e-mail: m.karczewski@wme.wat.edu.pl

Abstract

The problems of power supply the engines of military vehicles are growing together with the number of vehicles in armies. Application of additions biokomponents which change the proprieties of basic fuels is the next problem of fuelling present combustion engines. That is necessary undertaking the operations of enabling to adapting engines to supplying fuels from renewable sources.

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 three kinds of the fuel: diesel fuel as a basic fuel, single fuel the NATO code F-34, the mixture of fuels: F-34 (80% the mass part) and the methyl esters of higher acids rape oil of the rapeseed (20% the mass part) means B20. 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 B20 were partly changed in the relation to the basic fuel what there was the diesel oil. The parts of Carbon Monoxide, Hydrocarbons and exhaust gas are decreasing and engine torque is slight higher. In maximal torque and high engine speed - above 2500rpm during supplying engine fuel F-34 and its mixture, engine switched off automatically and for explanation this phenomena is necessary to explanation this phenomena.

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

WSTĘPNE WYNIKI BADAŃ SILNIKA G9T ZASILANEGO PALIWEM F-34 ORAZ JEGO MIESZANINA Z BIOKOMPONENTEM

Streszczenie

Problemy zasilania silników pojazdów wojskowych narasta wraz ze wzrostem liczby pojazdów w armiach. Równocześnie kolejnym problemem przy zasilaniu współczesnych silników spalinowych jest stosowanie dodatków biokomponentów, które zmieniają właściwości paliw podstawowych. Dlatego też konieczne jest podejmowanie działań prowadzących do przystosowywania silników do zasilania paliwami pochodzącymi ze źródeł odnawialnych.

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 trzema rodzajami paliwa: paliwem podstawowym jakim był olej napędowy, paliwem lotniczym o kodzie NATO F-34, mieszaniną paliw: F-34 (80% masowego udziału) i estrów metylowych wyższych kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego (20% masowego udziału). W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że parametry silnika Renault G9T z wysokociśnieniowym układem wtrysku zasilanego paliwem F-34 i B20 uległy częściowo zmianie w stosunku do podstawowego paliwa jakim był olej napędowy. Celowe jest prowadzenie dalszych badań nad zastosowaniem paliwa F-34 oraz F-34 z udziałem EMKOR, gdyż jak pokazują otrzymane wyniki właściwości takiej mieszaniny zmieniają się korzystnie. Przy maksymalnych obciążeniach, dla wysokich prędkości obrotowych – powyżej 2500 obr/min przy zasilaniu silnika paliwem F-34 i jego mieszaną silnik samoczynnie się wyłączał. Prawdopodobnie gaśnięcie silnika spowodowane było trudnościami w utrzymaniu odpowiedniego ciśnienia na zasobniku paliwowa. Celowe jest prowadzenie dalszych badań celem wyjaśnienia tego zjawiska.

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

1. Wprowadzenie

Problemy zasilania silników pojazdów wojskowych narastały wraz ze wzrostem liczby pojazdów w armiach oraz koniecznością zasilania ich różnymi rodzajami paliwa. W efekcie zdecydowano się ujednoczyć paliwa do silników tłokowych i turbinowych pojazdów oraz samolotów stacjonujących na lądzie. Wprowadzono paliwo oznaczone symbolem F34/35, które ma identyczną bazę jak paliwo lotnicze, a różnice właściwości wynikają jedynie z działania dodatków wprowadzanych przed tankowaniem. Paliwo to jest bez problemów używane do zasilania silników o zapłonie samoczynnym z pompami tłoczkowymi, rzędowymi oraz rozdzielaczowymi. Jednak w nowoczesnych silnikach zaczynają dominować wysokociśnieniowe układy wtryskowe z pompowtryskiwaczami lub zasobnikami paliwa (Common Rail), które charakteryzują się dużo wyższym ciśnieniem wtrysku, sięgającym 140...220 MPa, kilkukrotnie przewyższającym ciśnienie uzyskiwane w silnikach z pompami tłoczkowymi.

Kolejnym problemem przy zasilaniu współczesnych silników spalinowych jest planowane zastosowanie biokomponentów w paliwach, które zmieniają właściwości paliw podstawowych. Reguluje ją Dyrektywa Parlamentu Europejskiego nr 2003/30/EC z dnia 8 maja 2003 roku 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 roku,
- coroczny wzrost tego udziału o 0,75%, do poziomu 5,75% w roku 2010.

Obecnie w Polsce obowiązuje ustawa z dnia 25 sierpnia 2006 r. o biokomponentach i biopaliwach ciekłych, która reguluje kwestie paliw opartych o źródła odnawialne.

Problem paliw odnawialnych nabiera coraz większego znaczenia na świecie i najbardziej znaczący producenci prowadzą intensywne prace nad przystosowaniem silników do zasilania biopaliwami, tak aby nie ustępowały one trwałością i niezawodnością silnikom zasilanych paliwami standardowymi. Na przykład 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 roku 2009 pojazdów na biopaliwa w cenie porównywalnej z modelami napędzanymi silnikami o zapłonie iskrowym i samoczynnym. Również szwedzkie koncerny: Volvo i Saab są mocno zaangażowane w opracowanie silników zasilanych biopaliwami. Podobnie postępują inni.

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

Celem prezentowanej pracy było zbadanie wpływu zasilania silnika z wysokociśnieniowym układem wtryskowym Common Rail czystym paliwem F-34 oraz jego mieszaniną 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 w NATO przyjęto paliwo F-34, które jest także bazą do paliwa F-35 stosowanego do zasilania silników turbinowych samolotów stacjonujących na lądzie, co wymaga dodania jedynie odpowiednich dodatków. Jedynie samoloty stacjonujące na pokładach okrętów zasilane są innym 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. Przy niektórych systemach zasilania, powoduje to niewielkie zmniejszenie mocy silników ZS. 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 znacznie zużytej.

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. Paliwo F-34 posiada jednak niższą liczbę cetanową ($\text{LC}=45$, wobec $\text{LC}=50$ 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 użycie jako paliwa do silnika o zapłonie samoczynnym. Po modyfikacji chemicznej w procesie transestryfikacji otrzymuje się właściwości zbliżone do oleju napędowego (tab. 1).

Tab. 1. Wybrane własności fizykochemiczne oleju napędowego IZ-40, estrów metylowych kwasów tłuszczowych oraz paliwa F-34

Tab. 1. Selected physical and chemical properties of diesel fuel IZ-40, methyl ester of aliphatic acid and fuel F-34

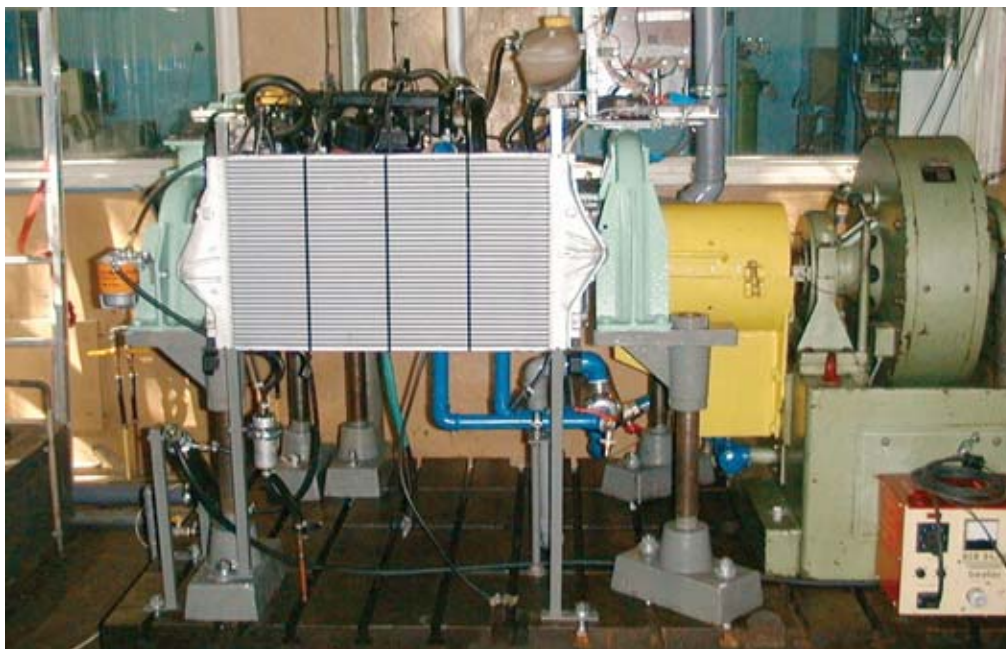
Parametr	Jednostka miary	ON IZ-40	RME	Paliwo F-34
Gęstość w temp. 15°C	g/cm^3	0,831	0,860...0,9	0,804
Wartość opałowa	MJ/kg	43,2	37..39	42,8
Temperatura zapłonu	$^{\circ}\text{C}$	66	166...186	57
Temperatur zablokowania zimnego filtra	$^{\circ}\text{C}$	-31	-5...-13	-54
Lepkość kinematyczna w 40°C	mm^2/s	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 momencie 290 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 wysokociśnieniowy wtrysk paliwa z podłużnego zasobnika. Silnik jest doładowany za pomocą turbosprężarki z chłodzeniem powietrza oraz układu stabilizacji temperatury paliwa w układzie przelewowym (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 A53,
- pompy zasilającej EKP3,
- pompy wysokiego ciśnienia CR/CP153/R65/10-165,
- wtryskiwaczy CR/IP517.



Rys. 1. Silnik G9T na stanowisku (na pierwszym planie widoczna jest chłodnica powietrza w układzie doładowania)
Fig. 1. The G9T diesel engine on the test stand (in the foreground is visible the air cooler in supercharging system)

Badania przeprowadzono przy zasilaniu silnika trzema rodzajami paliwa:

- olejem napędowym ON,
- paliwem F-34,
- mieszaniną paliwa F-34 (80%) i estrów metylowych wyższych kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego (20%) oznaczoną jako B20.

Badania zostały przeprowadzone w stanach ustalonych pracy silnika, zmieniając jego obciążenie przy prędkości: 1000, 1500, 2000, 2500, 3000 i 3500 obr/min. Mierzono parametry użyteczne pracy silnika, temperaturę (cieczy chłodzącej, oleju, spalin przed i za turbosprężarką, powietrza przed i za chłodnicą powietrza, spalin przed i za zaworem EGR, powietrza w rurze dolotowej silnika), ciśnienie powietrza przed i za chłodnicą powietrza oraz udziały związków w spalinach: CO₂, CO, HC, NO_x i NO.

4. Wyniki badań

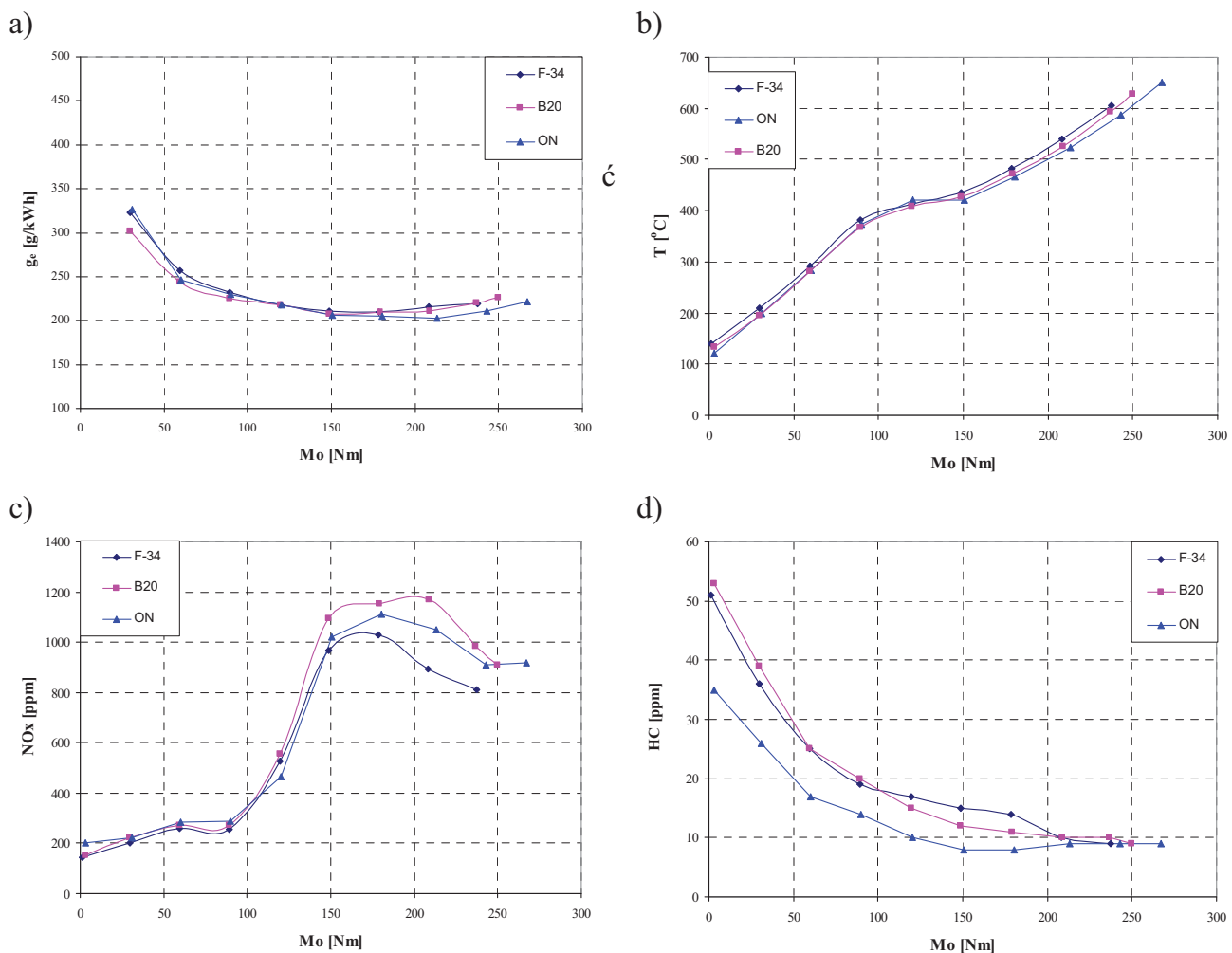
Na podstawie analizy uzyskanych wyników badań można stwierdzić, że pomiary parametrów użytecznych i udziałów składników spalin dla poszczególnych rodzajów paliwa, wielkości różniły się między sobą. Zakres zmian jest różny dla poszczególnych parametrów. Na rysunkach 2 i 3 przedstawiono przykłady wyników pomiarów przy dwóch wybranych wartościach prędkości obrotowej silnika. Przy analizie pominięto charakterystyki silnika przy pozostałych wartościach prędkości obrotowej, natomiast uzyskane wyniki badań w tych warunkach były uwzględniane przy ich analizie.

Przy prędkości małej (1000 obr/min) jak również przy zwiększonej prędkości obrotowej do 3000 i 3500 obr/min jednostkowe zużycie paliwa było wyższe do 10% przy pracy silnika na

paliwie B20 w stosunku do F-34. Natomiast w zakresie średnich prędkości obrotowych: 1500, 2000, 2500 obr/min., jednostkowe zużycie paliwa jest niższe do 5% dla paliwa B20 w prawie całym zakresie obciążenia silnika (rys. 2). Może to świadczyć o lepszym przebiegu rozpylenia i spalania paliwa B20.

Maksymalny moment obrotowy był nieznacznie wyższy o 1...3 % dla paliwa B20 w porównaniu z paliwem F-34 przy prędkości: 1000, 1500, i 2000 obr/min. Jednak najwyższy moment obrotowy silnika uzyskano dla oleju napędowego.

Przy prędkości obrotowej $n=2500$ obr/min i prędkości wyższej nie było możliwe rozwinięcie maksymalnej mocy silnika przy zasilaniu silnika paliwem F-34 i ON. Przy obciążeniu maksymalnym następowało wyłączenie silnika spowodowane odcięciem dawki przez sterownik silnika. Przypuszczalnie było to spowodowane trudnością uzyskania odpowiednio wysokiego ciśnienia przez układ sterownia pompą wysokiego ciśnienia ze względu na znacznie mniejszą lepkość paliwa F-34 i B20 w porównaniu z olejem napędowym. Zjawisko to będzie dokładniej przebadane podczas dalszych badań silnika.



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

Temperatura spalin była niższa do około 5 % przy zasilaniu silnika paliwem B20 w całym zakresie wyższej prędkości obrotowej, aczkolwiek przy małej prędkości i małym obciążeniu silnika temperatura jest porównywalna.

Wartości udziału CO₂ w spalinach nie różniły się istotnie dla poszczególnych paliw. Przy małym obciążeniu najmniejsze wartości udziału tego gazu występowały przy zasilaniu silnika olejem napędowym a najwyższe przy zasilaniu mieszaniną B20. Wzrost obciążenia powodował spadek udziałów CO₂ przy zasilaniu paliwem B20 do ok. 4 – 5 %.

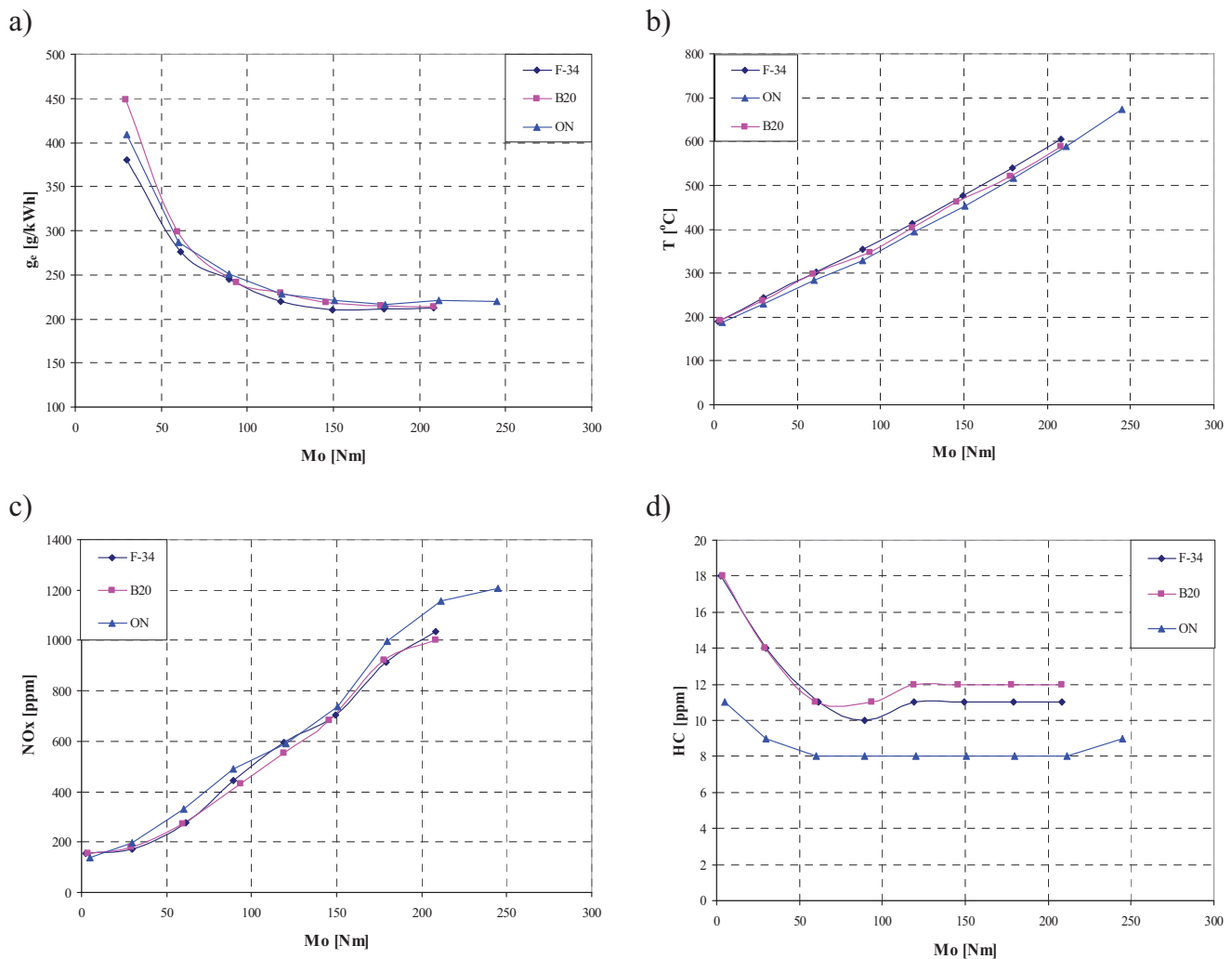
Udziały CO w spalinach przy dużym obciążeniu silnika były niższe dla paliwa B20 w stosunku dla F-34 nawet o ok. 50 % przy prędkości 1000, 1500 i 2000 obr/min, natomiast przy prędkościach 2500, 3000 i 3500 obr/min zmiany te były mniejsze i wynosiły ok. 10...50 % prawie w całym zakresie obciążeń (z wyjątkiem zakresu: 140...180 Nm). Niższy udział CO w spalinach przy zasilaniu silnika paliwem B20 świadczy o jego lepszym spalaniu tej mieszaniny w porównaniu z paliwem F-34. Przy zasilaniu silnika olejem napędowym udziały te były najniższe.

Również udziały węglowodorów w spalinach silnika zasilanego paliwem B20 były niższe do 25% prawie w całym zakresie momentu i prędkości obrotowej. Jedynie przy prędkości 1000 i 1500 obr/min udziały te były nieznacznie wyższe przy małym i średnim obciążeniu silnika; natomiast przy prędkości 3000 obr/min zwiększyły się przy średnim i wysokim obciążeniu silnika. Podobnie jak w przypadku CO, niższy udział HC w spalinach przy zasilaniu silnika paliwem B20 jest wynikiem jego dokładniejszego spalania. Jednak w porównaniu z olejem napędowym udziały węglowodorów dla pozostałych dwóch paliw były zdecydowanie wyższe.

Udziały NO_x w spalinach wszystkich badanych paliw były zbliżone dla większego obszaru pola pracy (mocy) silnika. Jedynie przy prędkości 1000 i 1500 obr/min udział NO_x był wyższy o 5...25% przy wysokim obciążeniu i zasilaniu silnika paliwem B20.

5. Wnioski

1. Parametry silnika Renault G9T z wysokociśnieniowym układem wtrysku paliwa podczas zasilania paliwem F-34 i jego mieszaniną EMKOR istotnie się różniły od parametrów przy zasilaniu silnika olejem napędowym IZ-40.
2. Jednostkowe zużycie paliwa było wyższe do 10% dla paliwa B20, zwłaszcza w zakresie dużej prędkości obrotowej. Przy małej prędkości obrotowej jednostkowe zużycie paliwa pozostaje na tym samym poziomie dla obydwu paliw.
3. Udziały CO w spalinach były niższe dla paliwa B20 nawet do 50% w zakresie wysokich obciążeń przy prędkościach 1000, 1500 i 2000 obr/min; natomiast przy prędkościach 2500, 3000 i 3500 obr/min – były niższe o 10...50% w prawie całym zakresie obciążeń. Świadczy to o lepszym spalaniu paliwa z udziałem biokomponentu.
4. Podobny charakter do zmian udziału tlenu węgla miały udziały węglowodorów, zdecydowanie niższe prawie w całym polu pracy silnika, a jedynie przy małej prędkości i małym obciążeniu udziały te były większe.
5. Udział NO_x w spalinach jest na zbliżonym poziomie dla obydwu paliw, jedynie dla prędkości 1000 i 1500 obr/min podczas zasilania paliwem B20 jest wyższy o 5...25% przy wysokim obciążeniu.
6. Celowe jest prowadzenie dalszych badań nad zastosowaniem paliwa F-34 oraz paliwa F-34 z udziałem EMKOR do zasilania silnika z wysokociśnieniowym układem wtryskowym, przede wszystkim przy maksymalnym obciążeniu silnika, gdyż paliwo z dodatkiem EMKOR korzystnie wpływa na parametry pracy silnika.
7. Wyjaśnienia wymaga problem z uzyskaniem momentu obrotowego porównywalnego z momentem silnika przy zasilaniu olejem napędowym. Nie wykluczona jest przy tym konieczność zwiększenia ciśnienia w zasobniku paliwa lub przeprogramowania jego kontrolera pokładowego. Badania takie wymagają odpowiedniego oprzyrządowania silnika w przetworniki pomiarowe i nie były przeprowadzone podczas badań, których wyniki przedstawiono w powyższym opracowaniu.



Rys. 3. Zmiany parametrów pracy silnika w funkcji obciążenia silnika przy prędkości $n = 3000$ obr/min: a- jednostkowe zużycie paliwa, b- temperatura spalin za turbiną, 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

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, Warsaw 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*, Warszawa, WKŁ, 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, Warsaw 2006.
- [5] Szlachta, Z., *Zasilanie silników wysokoprężnych paliwami rzepakowymi*, Warszawa, WKŁ, 2002.
- [6] Walentynowicz, J. i inni, *Dobór paliw zastępczych do silników pojazdów wojskowych*, Raport z realizacji Projektu Badawczego Grant nr OT00A00713.

- [7] Walentynowicz, J., *Badania silnika G9T z układem wtryskowym Common Rail zasilanego paliwem F-34*, VII Sympozjum N-T nt. Silniki spalinowe w zastosowaniach wojskowych, Rynia, 2005.
- [8] *Wprowadzenie koncepcji jednolitego paliwa F34/35 w wojskach lądowych NATO*. Aneks do raportu AC12(NF&LWG)D14 z 10.07.1998.