INVESTIGATION OF LUBRICATION PROPERTIES OF PETROLEUM FUEL AND BIOHYDROCARBON BLENDS

BADANIA WŁAŚCIWOŚCI SMARNYCH MIESZANEK PALIW NAFTOWYCH Z BIONEWŁOWODORAMI

Bartosz Gawron, Grażyna Karp

Air Force Institute of Technology

bartosz.gawron@itwl.pl, grazyna.karp@itwl.pl

Abstract: The paper covers issues regarding lubricity of petroleum fuels used in piston and turbine engines, containing hydrocarbon biocomponents. Basing on available literature it can be said that the most prospective fuel components are biohydrocarbons. The paper describes effect of biohydrocarbons included in aviation fuel and diesel fuel on lubricity of such blends. The analysis covers two processes for obtaining biohydrocarbons, the HVO and the Fischer-Tropsch process. Due to problems with actual products acquiring, biohydrocarbons models representing chemically the actual ones from specific process. Lubricity testing was carried out according to standard test methods.

Keywords: lubricity, petroleum fuels, biohydrocarbons

Streszczenie: Tematem publikacji są zagadnienia smarności paliw naftowych stosowanych do zasilania silników tłokowych i turbinowych zawierających biokomponenty węglowodorowe. Na podstawie przeglądu literatury można stwierdzić, że najbardziej perspektywicznymi komponentami do paliw są bionewęglowodory. W artykule przedstawiono wpływ dodatku bionewęglowodorów, do paliwa lotniczego oraz oleju napędowego, na smarność otrzymanych kompozycji. Analizie poddano dwie technologie otrzymywania bionewęglowodorów: HVO oraz syntezę Fischera – Tropscha. Ze względu na trudności w pozyskaniu rzeczywistych produktów, przygotowano modele bionewęglowodorów reprezentujące w sensie chemicznym rzeczywiste bionewęglowodory z danej technologii. Badania w kierunku oceny właściwości smarnych zostały przeprowadzone w oparciu o znormalizowane metody badawcze.

Słowa kluczowe: smarność, paliwa mineralne, bionewęglowodory

INVESTIGATION OF LUBRICATION PROPERTIES OF PETROLEUM FUEL AND BIOHYDROCARBON BLENDS

1. Introduction

In relation to continuous development of both reciprocating and turbine engines, the new technologies regarding fuel production and blending come into existence. First stage of quality assessment of fuel is that it to meet many standard requirements in the range of physical and chemical characteristics. One of the fuel parameters, especially important, is lubricity which is directly connected with propulsion units operation. Too low fuel lubricity might affect increased wear, or injection system malfunction that leads to combustion process deterioration, emissions increase, and engine damage.

Various additives, including products obtained using biomass, are added currently into mineral fuels. Diesel fuel, used commonly in automotive industry as fuel for CI engines can include biocomponents - fatty acid methyl esters (FAME) - up to 7 % vol., acc. to specification PN-EN 590. As for alternative fuels for aviation, biohydrocarbons are especially important [1,2].

The Air Force Institute of Technology (AFIT) has done research on FAME biocomponent usefulness for its use in aviation turbine engines. Basing on the results it has been found that use of this additive as an aviation fuel component is limited [3]. However, there were no contradictions against using this additive in turbine engine fuels in transport branches other than aviation ones [4]. Also there were projects aimed at using butanol as the additive in mineral fuels used in transport [5]. According to the research, the best way of direct butanol use are gasolines, including aviation ones. As for aviation turbine fuels and diesel fuels, direct use of butanol is more limited. However, in such case, butanol can be treated as semi-finished product for further synthesizing other products e.g. biohydrocarbons.

Current research, being carried out all over the world, are aimed at using biofuels basing on hydrocarbon biocomponents (Fig. 1, 2). It seems that they are the most prospective fuel components, especially in relation to aviation turbine fuels.

Fig. 1. Prospective of use various components in diesel fuel [6]

		TYPE					
CATEGORY		Conventional Jet Fuel ("Kerosene")	Alcohols	Bio Esters	Synthetic Fuels	Hydrogenated Biomass	Cryogenic Fuels
	Non-Renewable (Fossil)	✓ Jet Fuel			Coal To Liquid (CTL) Gas To Liquid (GTL) ✓		Liquefied Natural Gas ✗ Liquid Hydrogen ✗
	Renewable	35% lower energy content ✗ 10% lower energy content, -5°C Freeze point...	Ethanol ... ✗	Fatty Acid Methyl Esters (FAME), ...	Biomass To Liquid (BTL)	Hydrogenated Vegetable Oils	Low energy content per unit volume, Availability, Infrastructure

Fig.2. Alternative fuels for aviation [7]

Hydrocarbon biocomponents can be obtained using various processes. The chemical composition stability of finished product is very important during biohydrocarbons production. The production replicability determines whether specific process could be used at industrial range. The most useful technologies for biofuels production are HVO, and Fischer-Tropsch process.

The lubricity of blends of fuels with various components has already been undertaken. The effect of FAME additive in mineral fuels on lubricity change has been assessed in the author's work [8]. They found that the biggest change in wear scar diameter values for fuel blends with FAME in relation to the same parameter for neat mineral fuel were observed for FAME content in fuel up to appr. 5 % (V/V). There were no significant wear changes for higher FAME concentrations. This paper describes the effect of biohydrocarbons contained in fuel Jet A-1 and diesel fuel on lubricity of obtained fuel blends. The analysis covered two technologies for biohydrocarbons obtaining: HVO and Fischer-Tropsch process.

2. Methodology and subject of study

In order to carry out the study of petroleum fuels and biohydrocarbons mixtures lubricity we used the following components: aviation fuel Jet A-1, diesel fuel (DF), and selected chemical reagents. The Jet A-1 fuel has been obtained from two sources related to different technologies of production. They has been marked as follows: Jet A-1(I) - hydrotreating as a basic process, Jet A-1(II) - Merox as a basic process. The main assumption for diesel fuel was that obtained fuel wouldn't contain fatty acid methyl esters (FAME) that in turn could affect lubricity test results.

Due to problems with actual biohydrocarbons acquiring, their models representing chemically hydrocarbons obtained using the two selected technologies: HVO, and Fischer-Tropsch process. The hydrocarbons in form of chemical reagents (Table 1) were used to create the models.

Table 1. Properties of selected hydrocarbons for model [9]

Technology	HVO			F-T		
Symbol	n C ₁₁	n C ₁₅	n C ₁₇	n C ₁₂	n C ₁₄	n C ₁₆
Name	undecane	pentadecane	heptadecane	dodecane	tetradecane	hexadecane
melting point, °C	-26	10	22	-10	5,5	-18
boiling point, °C	196	270	303	216	252,5	288

Selection of above hydrocarbons was preceded by analysis of data containing information about chemical composition of actual biohydrocarbons obtained using selected technology. Information on blended models are described in Tables 2 and Table 3.

Table 2. Blended models of biohydrocarbons acc. to HVO technology

Model number	n C ₁₁ content [%]	n C ₁₅ content [%]	n C ₁₇ content [%]
HVO_1	30	35	35
HVO_2	0	50	50

Table 3. Blended models of biohydrocarbons acc. to Fischer-Tropsch process

Model number	n C ₁₂ content [%]	n C ₁₄ content [%]	n C ₁₆ content [%]
F-T_1	50	0	50
F-T_2	0	50	50

After preparation of biohydrocarbons models corresponding to the two selected technologies we have started to create the blends of these models with aviation fuel Jet A-1, and with diesel fuel (DF). The blends have had various concentrations of specific components, i.e. 5 % (V/V), 10 % (V/V), and 20 % (V/V) contribution of particular model in petroleum fuel. For aviation fuels, the blends contained biohydrocarbons models from HVO technology were used, whereas for diesel fuel (DF) the blends contained models both from HVO technology, and Fischer-Tropsch (F-T) process.

The lubricity of the blends have been determined basing on standard test methods [10, 11] using two test rigs: the BOCLE for aviation fuels, and the HFRR for diesel fuel. The test result for both test methods is wear scar diameter.

3. Test results and discussion

Fig. 3 illustrates lubricity test results for blends of aviation fuel Jet A-1 with model hydrocarbons.

Fig. 3. The graph of wear scar diameter depending on type and content of model biohydrocarbons HVO in fuel blend based on:
a) aviation fuel from hydrotreating, b) aviation fuel from Merox process

According to obtained test results (Fig. 3) we can say that for aviation fuels, both from hydrotreating and Merox, after adding specific hydrocarbon model of HVO process at every concentration, wear scar diameters were smaller than in case of neat aviation fuel. The biggest changes of wear scar diameter were observed at low concentrations (up to 10 %) of model hydrocarbons in the blend.

Lubricity test results for blends of diesel fuel and model hydrocarbons for F-T process and HVO are illustrated in Fig. 4 and 5 accordingly.

Preliminary test results for blends: 5 %, 10 %, and 20 % showed that wear scar diameter changes were irregular. The testing has been extended to include additional concentrations: 3 %, 7 %, and 15 %. Unfortunately, due to insufficient

number of model hydrocarbons, we have to limit to one blend type: diesel fuel with biohydrocarbon models from F-T process (Fig. 4).

After testing complementation we have obtained the wear scar diameter change graph, showed as Test_1 on Fig. 4. It shows that the biggest irregularities of wear scar diameter change takes place for F-T process model hydrocarbons at contribution up to 10 %. Above 10 %, the wear scar diameter change trend is more explicit, tending to increase the value of this parameter together with specific model concentration increase.

Because of the biggest irregularities at low range of concentration, further tests have been carried out with increased number of measurement points. The aim of such approach was to obtain more precise course of wear scar diameter changes. The tests have been carried out at concentrations: 1 %, 3 %, 4 %, 5 %, 6 %, and 7 % contribution of F-T model in the blend. Obtained characteristics are showed on Fig. 4 as Test_2, and their courses are different depending on selected F-T model. These tests still prove the irregularity of wear scar diameter change at low range of concentration.

Irregular courses obtained also in case of lubricity testing of diesel fuel with hydrocarbon models for HVO technology. Figure 5 shows also different course (Test_2) of wear scar diameter change depending on HVO model selection. For HVO_2 model, the wear scar diameter was tending to be reduced, while for HVO_1 it was not possible to find explicit trend in any direction.

Fig. 4. Wear scar diameter change depending on type and concentration of F-T model biohydrocarbons: a) DF + F-T_1 b) DF + F-T_2

Fig. 5. Wear scar diameter change depending on type and concentration of HVO model biohydrocarbons: a) DF + HVO_1 b) DF + HVO_2

4. Conclusions

The paper concerns fuel lubricity issues. Presented results prove the effect of concentration of hydrocarbons modelling actual biohydrocarbons in fuel (aviation turbine one, and diesel fuel) on friction in friction pairs simulated by BOCLE, and HFRR frictional machines. The composition of hydrocarbon blend, and hence their production technology, influence on wear scar diameter values, especially in case of blends with diesel fuel. The results of these tests show that real operational problems connected with introduction of new type components, especially into diesel fuel, can occur. This is the grounds for undertaking next projects, enhanced, and aimed at investigation the effect of fuels containing biohydrocarbons on operational characteristics.

5. References

- [1] Kulczycki A. Dziegielewski W.: Biopaliwa lotnicze oparte na biowęglowodorach i innych biokomponentach, Journal of KONBIN, nr 1 (17), pp. 165-178.

- [2] Gawron B. Kaźmierczak U.: Hydrocarbon biocomponents use in aviation fuels – preliminary analysis of issues. Biokomponenty węglowodorowe do zastosowań w paliwach lotniczych – wstępna analiza zagadnienia, Journal of KONBIN, 3,4 (27,28), pp. 63-72.
- [3] Dzięgielewski W. Gawron B.: Investigation to check applicability of 1st generation biocomponents to fuels for turbine aircraft engines, Prace Naukowe Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych, nr 30, pp. 235-248.
- [4] Dzięgielewski W. Gawron B. Kulczycki A.: Low temperature properties of fuel mixtures of kerosene and FAME type used to supply turbine engines in marine and other non-aeronautical applications, Polish Maritime Research, vol. 22, no. 2 (86), pp.101-105.
- [5] Dzięgielewski W. Gawron B. Kaźmierczak U. Kulczycki A.: Butanol/biobutanol as a component of an aviation and diesel fuel, Journal of KONES, vol.21, no.2, str. 69-75.
- [6] Aatola H. Larimi M. Sarjovaara T. Mikkonen S.: Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) as a Renewable Diesel Fuel: Trade-off between NO_x, Particulate Emission, and Fuel Consumption of a Heavy Duty Engine, SAE Technical Paper, 2008-01-2500, Published 06 Oktober 2008.
- [7] ICAO Environmental Section, A Summary of Research and Perspectives at The ICAO Workshop on Aviation and Alternative Fuels, Montreal 10-12 February, 2009.
- [8] Gawron B. Dzięgielewski W.: Initial research of the effect of FAME containing petroleum fuel blends storage on lubricity, Journal of Polish CIMAC, Vol. 9 no 2, pp. 35-43.
- [9] Chemical Handbook.
- [10] ASTM D5001, Standard Test Method for Measurement of Lubricity of Aviation Turbine Fuels by the Ball-on-Cylinder Lubricity Evaluator (BOCLE).
- [11] PN-EN ISO 12156, Oleje napędowe. Ocena smarności z zastosowaniem aparatu o ruchu posuwisto-zwrotnym wysokiej częstotliwości (HFRR).

dr inż. Bartosz Gawron, graduate of the Military University of Technology in Warsaw, major in mechatronics, speciality in aircraft and helicopters, completed doctoral studies in Military University of Technology at the Faculty of Mechatronics and Aviation, from 2012 Ph.D. degree in scientific discipline of mechanics. Actually, research scientist in Air Force Institute of Technology.

mgr inż. Grażyna Karp, graduate of the Cracov University of Technology, in 1989-2005 scientific technical worker in WOBR SŁ. MPS. Actually, scientific technical worker in AFIT. Specialist in the field of fuel and fluids, especially aviation fuels and biofuels.

BADANIA WŁAŚCIWOŚCI SMARNYCH MIESZANEK PALIW NAFTOWYCH Z BIEWĘGLOWODORAMI

1. Wprowadzenie

W związku z ciągłym rozwojem konstrukcji silników tłokowych jak i turbinowych powstają również nowe technologie wytwarzania i komponowania paliw. W pierwszym etapie oceny jakości produktu paliwowego jest spełnienie szeregu wymagań normatywnych w zakresie właściwości fizykochemicznych. Jednym z parametrów charakteryzujących paliwo, szczególnie istotna jest smarność, która bezpośrednio przekłada się na eksploatację zespołów napędowych. Zbyt mała smarność paliwa zasilającego silnik może wpłynąć na zwiększone zużycie lub na wystąpienie uszkodzenia aparatury wtryskowej, a to powoduje pogorszenie procesu spalania, wzrost emisji spalin i uszkodzenie samego silnika.

Obecnie do paliw mineralnych dodawane są różne dodatki, również produkty wytwarzane z biomasy. Olej napędowy stosowany w przemyśle motoryzacyjnym jako paliwo do silników wysokoprężnych według normy PN-EN 590 może zawierać dodatek estrów metylowych wyższych kwasów tłuszczowych (FAME) do 7 % objętości paliwa. W odniesieniu zaś do paliw alternatywnych dla lotnictwa szczególne znaczenie mają biowęglowodory [1,2].

W ITWL prowadzono badania przydatności biokomponentu typu FAME do zastosowania w turbinowych silnikach lotniczych. Na ich podstawie stwierdzono, że stosowanie tego dodatku jako składnika paliw w zastosowaniach lotniczych ma ograniczone możliwości [3]. Jednak nie uzyskano żadnych przeciwwskazań do wprowadzania tego biokomponentu w paliwie do zasilania silników turbinowych w innych dziedzinach transportu niż w lotnictwie [4]. Realizowano również prace w kierunku zastosowania wyższych alkoholi, tj. butanolu jako komponentu do paliw mineralnych stosowanych w transporcie [5]. Z badań wynika, że najkorzystniejszym sposobem bezpośredniego zastosowania butanolu są benzyny, w tym benzyny lotnicze. W odniesieniu do paliw do turbinowych silników lotniczych i olejów napędowych ograniczenia w bezpośrednim stosowaniu butanolu są większe. Jednak w takim przypadku butanol można potraktować jako półprodukt, z którego na dalszym etapie syntezowane są inne produkty np. biowęglowodory.

Aktualne badania prowadzone na świecie zmierzają w kierunku stosowania biopaliwa opartego o biokomponenty węglowodorowe (Rys. 1 i 2). Wydaje się, że są to najbardziej perspektywiczne komponenty do paliw, a zwłaszcza paliw do turbinowych silników lotniczych.

Rys. 1. Perspektywy stosowania różnych komponentów w oleju napędowym [6]

		TYPE					
		Conventional Jet Fuel ("Kerosene")	Alcohols	Bio Esters	Synthetic Fuels	Hydrogenated Biomass	Cryogenic Fuels
CATEGORY	Non-Renewable (Fossil)	✓ Jet Fuel			Coal To Liquid (CTL) Gas To Liquid (GTL) ✓		Liquefied Natural Gas ✗
	Renewable	35% lower energy content ✗ 10% lower energy content, -5°C Freeze point...	Ethanol ... ✗	Fatty Acid Methyl Esters (FAME), ...	Biomass To Liquid (BTL)	Hydrogenated Vegetable Oils	Liquid Hydrogen ✗ Low energy content per unit volume, Availability, Infrastructure

Rys. 2. Alternatywne paliwa dla lotnictwa [7]

Biokomponenty węglowodorowe mogą być otrzymywane różnymi technologiami. Niezwykle istotna przy produkcji biowęglowodorów jest stabilność składu chemicznego uzyskiwanego produktu. Powtarzalność produkcji decyduje bowiem o tym czy dana technologia może być stosowana w skali przemysłowej. W obszarze lotnictwa i motoryzacji technologiami o największej przydatności do wytwarzania biopaliw są technologia HVO oraz synteza Fischera-Tropscha. Badania właściwości smarnych mieszanek paliw z różnymi komponentami były już podejmowane. W pracy [8] autorzy ocenili wpływ dodatku FAME do paliw mineralnych na zmiany tych właściwości. Stwierdzono, że największe różnice w wartości średnicy śladu zużycia mieszanek paliwowych z FAME w odniesieniu do wielkości zużycia dla czystego paliwa mineralnego są obserwowane do ok. 5% udziału (V/V) FAME w paliwie. Powyżej tego stężenia nie zaobserwowano znaczących zmian zużycia.

W niniejszym artykule przedstawiono wpływ dodatku biowęglowodorów do paliwa lotniczego Jet A-1 oraz oleju napędowego na właściwości smarne otrzymanych kompozycji paliwowych. Analizie poddano dwie technologie otrzymywania biowęglowodorów: HVO oraz syntezę Fischera – Tropsha.

2. Metodyka i obiekt badań

W celu przeprowadzenia badań właściwości smarnych mieszanek paliw naftowych z biowęglowodorami pozyskano następujące składniki: paliwo lotnicze JetA-1, olej napędowy ON oraz wytypowane odczynniki chemiczne. Paliwo lotnicze Jet A-1 pozyskano z 2 źródeł, charakteryzujących się różnymi technologiami produkcji i oznaczono następująco: JetA-1(I) - proces podstawowy: hydrrafinacja, Jet A-1(II) - proces podstawowy: Merox. Głównym założeniem w przypadku oleju napędowego było, aby pozyskane paliwo nie zawierało dodatku estrów metylowych wyższych kwasów tłuszczowych (FAME), co mogłoby bezpośrednio wpływać na uzyskane wyniki badań właściwości smarnych.

Ze względu na trudności w pozyskaniu rzeczywistych biowęglowodorów, przygotowano ich modele reprezentujące w sensie chemicznym węglowodory otrzymywane z dwóch wytypowanych technologii: technologii HVO i syntezy F-T. Do wytworzenia modeli pozyskano węglowodory w postaci odczynników chemicznych (Tabela 1).

Tabela 1. Właściwości wytypowanych węglowodorów do tworzenia modeli [9]

Technologia	HVO			F-T		
Symbol	n C ₁₁	n C ₁₅	n C ₁₇	n C ₁₂	n C ₁₄	n C ₁₆
Nazwa	undekan	pentadekan	heptadekan	dodekan	tetradekan	heksadekan
temp. topnienia °C	-26	10	22	-10	5,5	-18
temp. wrzenia °C	196	270	303	216	252,5	288

Wybór ww. węglowodorów był poprzedzony analizą własnych danych zawierających informacje o składzie chemicznym rzeczywistych biowęglowodorów otrzymywanych wybranymi technologiami. Tabela 2 i 3 zawiera informacje na temat wytworzonych modeli.

Tabela 2. Modele biowęglowodorów odpowiadające technologii HVO

Nr modelu	Zawartość n C ₁₁ [%]	Zawartość n C ₁₅ [%]	Zawartość n C ₁₇ [%]
HVO_1	30	35	35
HVO_2	0	50	50

Tabela 3. Modele biowęglowodorów odpowiadające technologii F-T

Nr modelu	Zawartość n C ₁₂ [%]	Zawartość n C ₁₄ [%]	Zawartość n C ₁₆ [%]
F-T_1	50	0	50
F-T_2	0	50	50

Po przygotowaniu modeli biowęglowodorów przystąpiono do tworzenia mieszanek tych modeli z paliwem lotniczym Jet A-1 oraz olejem napędowym ON. Mieszanki przygotowano w różnych proporcjach stężeń poszczególnych składników, tj. z 5%, 10% i 20% udziałem (V/V) danego modelu w paliwie naftowym. Dla paliwa lotniczego skomponowano mieszanki z modelami biowęglowodorów z technologii HVO, natomiast dla oleju napędowego skomponowano mieszanki z modelami z technologii HVO i F-T.

Właściwości smarne mieszanek zostały określone na podstawie testów na dwóch aparatach: aparat BOCLE w przypadku paliwa lotniczego, aparat HFRR w przypadku oleju napędowego, według znormalizowanych metod badawczych [10,11]. W przypadku obu metod badawczych, wynikiem testu jest wartość średnicy śladu zużycia.

3. Wyniki badań i ich omówienia

Na Rys. 3 przedstawiono wyniki badań właściwości smarnych mieszanek paliwa lotniczego Jet A-1 z modelowymi węglowodorami.

Rys. 3. Przebieg zmian średnicy zużycia w zależności od rodzaju i zawartości biowęglowodorów modelowych HVO w mieszance paliwowej opartej na:
a) paliwie lotniczym z hydorafinacji, b) paliwie lotniczym z procesu Mercox.

Na podstawie otrzymanych rezultatów (Rys. 3) widać, że w przypadku zarówno paliwa lotniczego uzyskanego z procesu hydorafinacji oraz z procesu Merox, po dodaniu określonego modelu węglowodorów z technologii HVO dla wszystkich stężeń, otrzymano mniejsze średnice zużycia niż w przypadku czystego paliwa lotniczego. Największe zmiany średnicy zużycia otrzymano w zakresie niskich stężeń (do 10%) udziału węglowodorów modelowych w mieszance.

Na Rys. 4 i 5 przedstawiono wyniki badań właściwości smarnych mieszanek oleju napędowego z modelowymi węglowodorami kolejno dla technologii F-T i HVO. Po wykonaniu wstępnie zaplanowanych badań mieszanek: 5%, 10% i 20%, otrzymano rezultaty z których wynikał nieregularny charakter zmian średnicy zużycia. Uzupełniono badania o dodatkowe punkty pomiarowe: 3%, 7% i 15%. Ze względu na niewystarczającą ilość węglowodorów modelowych, ograniczono się do uzupełnienia badań w ramach jednego typu kompozycji: oleju napędowego z modelami biowęglowodorów z procesu F-T (Rys. 4).

Po uzupełnieniu badań otrzymano przebieg zmian średnicy zużycia oznaczony na Rys. 4 jako Test_1. Widać, że do 10% udziału modelu węglowodorów z technologii F-T w mieszance z olejem napędowym, występują największe nieregularności w zmianach średnicy śladu zużycia. Powyżej 10% obserwuje się bardziej jednoznaczny trend zmiany średnicy śladu zużycia w kierunku zwiększenia wartości tego parametru wraz ze wzrostem udziału stężenia danego modelu.

Ze względu na największe nieregularności w niskim zakresie stężeń, przeprowadzono kolejne badania, w których zagęszczono punkty pomiarowe. Celem zagęszczenia miało być uzyskanie bardziej precyzyjnego przebiegu zmian średnicy śladu zużycia. Testy wykonano dla następujących stężeń: 1%, 3%, 4%, 5%, 6% i 7% udziału modelu F-T w mieszance. Otrzymano charakterystyki oznaczone na Rys. 4 jako Test_2, które wykazują się odmiennością w przebiegu w zależności od wybranego modelu F-T. Badania te w dalszym ciągu potwierdzają nieregularność zmiany średnicy śladu zużycia w niskim zakresie stężeń.

Nieregularne przebiegi uzyskano również w przypadku badań właściwości smarnych dla oleju napędowego z modelami węglowodorów dla technologii HVO. Na Rys. 5 można zaobserwować również odmienny przebieg (Test_2) zmiany średnicy śladu zużycia w zależności od wyboru modelu HVO. Dla modelu HVO_2 uzyskano trend w kierunku zmniejszenia średnicy zużycia, zaś przy HVO_1 nie można stwierdzić wyraźnego trendu w żadnym kierunku.

Rys. 4. Przebieg zmian średnicy zużycia w zależności od rodzaju i zawartości biowęglowodorów modelowych a) mieszanka ON+F-T_1 b) mieszanka ON+F-T_2

Rys. 5. Przebieg zmian średnicy zużycia w zależności od rodzaju i zawartości biowęglowodorów modelowych HVO
a) mieszanka ON+HVO_1 b) mieszanka ON+HVO_2

4. Wnioski

Artykuł dotyczy problematyki smarności paliw. Prezentowane wyniki potwierdzają wpływ zawartości węglowodorów modelujących rzeczywiste biowęglowodory w paliwie (paliwie do turbinowych silników lotniczych oraz oleju napędowym) na przebieg tarcia w skojarzeniach ciernych symulowanych w maszynach tarciovych BOCLE i HFRR. Skład mieszaniny węglowodorów, a przez to technologia ich otrzymywania, mają wpływ na uzyskane wartości średnicy śladu zużycia, szczególnie w przypadku mieszanek z olejem napędowym.

Wyniki niniejszych badań pokazują, że mogą zaistnieć rzeczywiste problemy eksploatacyjne związane z wprowadzeniem nowego typu komponentów zwłaszcza do oleju napędowego. Stanowi to uzasadnienie podjęcia kolejnych prac – o szerszym zakresie, których celem byłoby zbadanie wpływu paliw zawierających biowęglowodory na właściwości eksploatacyjne.

5. Literatura

- [1] Kulczycki A. Dzięgielewski W.: Biopaliwa lotnicze oparte na biowęglowodorach i innych biokomponentach, Journal of KONBIN, nr 1 (17), str. 165-178.

- [2] Gawron B. Kaźmierczak U.: Hydrocarbon biocomponents use in aviation fuels – preliminary analysis of issues. Biokomponenty węglowodorowe do zastosowań w paliwach lotniczych – wstępna analiza zagadnienia, Journal of KONBIN, 3,4 (27,28), str. 63-72.
- [3] Dzięgielewski W. Gawron B.: Investigation to check applicability of 1st generation biocomponents to fuels for turbine aircraft engines, Prace Naukowe Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych, nr 30, str. 235-248.
- [4] Dzięgielewski W. Gawron B. Kulczycki A.: Low temperature properties of fuel mixtures of kerosene and FAME type used to supply turbine engines in marine and other non-aeronautical applications, Polish Maritime Research, vol. 22, no. 2 (86), str.101-105.
- [5] Dzięgielewski W. Gawron B. Kaźmierczak U. Kulczycki A.: Butanol/biobutanol as a component of an aviation and diesel fuel, Journal of KONES, vol.21, no.2, str. 69-75.
- [6] Aatola H. Larimi M. Sarjovaara T. Mikkonen S.: Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) as a Renewable Diesel Fuel: Trade-off between NOx, Particulate Emission, and Fuel Consumption of a Heavy Duty Engine, SAE Technical Paper, 2008-01-2500, Published 06 Oktober 2008.
- [7] ICAO Environmental Section, A Summary of Research and Perspectives at The ICAO Workshop on Aviation and Alternative Fuels, Montreal 2009.
- [8] Gawron B. Dzięgielewski W.: Initial research of the effect of FAME containing petroleum fuel blends storage on lubricity, Journal of Polish CIMAC, Vol. 9 no 2, str. 35-43.
- [9] Poradnik chemiczny.
- [10] ASTM D5001, Standard Test Method for Measurement of Lubricity of Aviation Turbine Fuels by the Ball-on-Cylinder Lubricity Evaluator (BOCLE).
- [11] PN-EN ISO 12156, Oleje napędowe. Ocena smarności z zastosowaniem aparatu o ruchu posuwisto-zwrotnym wysokiej częstotliwości (HFRR).

dr inż. Bartosz Gawron, absolwent Wojskowej Akademii Technicznej na kierunku mechatronika, specjalność: samoloty i śmigłowce, w latach 2008-2012 doktorant na studiach III stopnia w WAT na Wydziale Mechatroniki i Lotnictwa, od 09.2012 doktor nauk technicznych w dyscyplinie naukowej mechanika. Aktualnie pracownik naukowy w Instytucie Technicznym Wojsk Lotniczych.

mgr inż. Grażyna Karp, Absolwentka Politechniki Krakowskiej, w latach 1989-2005 pracownik badawczo-techniczny WOBR SŁ. MPS. Aktualnie pracownik badawczo – techniczny ITWL. Specjalista w zakresie paliw i płynów eksploatacyjnych, szczególnie paliw lotniczych i biopaliw.