

Martynika Pałuchowska

*Institut Nafty i Gazu*

## Bezołowiowa benzyna lotnicza – poszukiwania rozwiązań

Artykuł stanowi przegląd literaturowy dotyczący zagadnień związanych z bezołowiową benzyną lotniczą i zawiera informacje o prowadzonych na świecie poszukiwaniach rozwiązań techniczno-technologicznych w zakresie formuły komponentowej takiego paliwa. Projekty badawcze nad opracowaniem odpowiedniej formuły bezołowiowej benzyny lotniczej obejmują zastosowanie eterów alkilowych, amin aromatycznych, MMT, etanolu i ich kombinacji. W proces przejścia na stosowanie takiej benzyny zaangażowani są wszyscy uczestnicy rynku lotniczego.

Słowa kluczowe: bezołowiowa benzyna lotnicza, eter etylowo-tert-butyłowy, etanol, aminy aromatyczne.

### Unleaded aviation gasoline – search for solutions

The article presents a review of literature concerning issues related to unleaded aviation gasoline and it contains information about the global search for technical and technological solutions for the component formula of that fuel. Research projects to develop the right formula of unleaded aviation gasoline include the use of alkyl ethers, aromatic amines, MMT, ethanol, and combinations thereof. Involved in the process of transition to this gasoline are all the participants on aviation market.

Key words: unleaded aviation gasoline, ethyl-tert-butyl ether, ethanol, aromatic amines.

### Wstęp

Artykuł stanowi przegląd literaturowy dotyczący zagadnień związanych z bezołowiową benzyną lotniczą. Ze względu na podejmowane kroki w kierunku wycofania związków ołowiu z paliw stosowanych w lotnictwie, obecnie trwają poszukiwania rozwiązań techniczno-technologicznych w zakresie formuły komponentowej bezołowiowej benzyny lotniczej. W latach 70. XX wieku firma Hjelme Oil zapoczątkowała realizację projektu dotyczącego takich paliw. Do prac został wybrany samolot Piper PA 28 z silnikiem Lycoming O320-D3G Textron 160 KM. W wyniku prac w 1981 r. została opracowana i wprowadzona na rynek skandynawski benzyna lotnicza bezołowiowa Avgas 80/87UL, która znalazła zastosowanie także w Królewskich Szwedzkich Siłach Powietrznych [11]. Po dziesięciu latach badań w 1991 r. firma Hjelme Oil wprowadziła na rynek szwedzki kolejny gatunek bezołowiowej benzyny lotniczej – Avgas 91/96UL,

spełniający wymagania normy ASTM D 910 [11]. Testy emisji szkodliwych składników spalin tej benzyny przeprowadzono we współpracy z FOCA (Szwajcarski Urząd Lotnictwa Cywilnego) i Niemiecką Agencją Kosmiczną (DRL). Uzyskane dane potwierdziły znaczne ograniczenie emisji szkodliwych składników spalin przy zastosowaniu benzyny lotniczej Avgas 91/96UL w porównaniu z emisją tych składników spalin przy stosowaniu tradycyjnej etylizowanej benzyny lotniczej Avgas 100LL. Rozwiązania techniczne silnika lotniczego przyniosły także znaczne (około 65%) ograniczenie hałasu oraz zmniejszenie zużycia paliwa o 8%.

Wszelkie przyszłe formuły benzyny lotniczej będą musiały sprostać technologicznym wyzwaniom jakościowym, związanym z zaniechaniem stosowania związków ołowiu. Dotyczyć to będzie uzyskania przez te formuły odpowiednich liczb oktanowych, a także zastosowania takich proporcji udziałów

poszczególnych komponentów, aby uzyskać właściwą wartość opałową paliwa, przy zachowaniu odpowiedniej prężności par i składu frakcyjnego. Nowe formuły benzyny lotniczej muszą

być także przyjazne środowisku i przyczyniać się do redukcji emisji ditlenku węgla oraz muszą składać się z komponentów dostępnych na całym świecie w akceptowalnej cenie.

### ETBE w zastosowaniu do bezołowiowych benzyn lotniczych

Badania firmy Hjelmcö Oil koncentrują się obecnie na bioeterze etyloowo-tert-butylovym (bio-ETBE) – komponencie, który nie jest higroskopijny jak np. etanol. Bio-ETBE w bezołowiowej benzynie lotniczej może ograniczyć uzależnienie od tradycyjnych komponentów węglowodorowych. Wprowadzenie biokomponentu pozwoli zredukować lub wyeliminować ołów oraz substancje zubażające warstwę ozonową, ograniczyć emisję ditlenku węgla, zwiększyć liczbę oktanową i trwałość paliwa podczas przechowywania, a zmniejszyć palność oraz ilość toksycznych związków aromatycznych. Bio-ETBE produkowany jest w wielu krajach Unii Europejskiej, więc jest dostępny cenowo. Bio-ETBE został w 1995 r. zatwierdzony przez organ nadzoru lotniczego FAA (Federal Aviation Administration) jako składnik Avgasu używanego do celów lotniczych zgodnie z różnymi samolotowymi certyfikatami typu STC.

Benzyna lotnicza Bio-ETBE Avgas może być w gatunku zarówno bezołowiowym, jak i etylizowanym oraz spełniać wymagania obecnej normy ASTM D910, jeśli ETBE uzyska certyfikat komponentu benzyny lotniczej.

W 2010 r. EAA Air Venture (Experimental Aircraft Association) w Oshkosh w USA poinformowało o pracach nad wysokooktanową benzyną lotniczą z wykorzystaniem ETBE. Badania nad benzyną lotniczą Bio-ETBE Avgas generują wysokie koszty, również wysokie są koszty certyfikacji, co powoduje, że paliwo to jest nieco droższe niż tradycyjna benzyna Avgas 100LL. W Unii Europejskiej bezołowiowa benzyna lotnicza Avgas jest nadal opodatkowana tak jak produkt wysokoolowiowy, ponieważ Komisja Europejska nie wprowadziła jeszcze zmian w systemach podatkowych, pomimo monitów z branży lotniczej [11].

### System ADI (woda/metanol) w zastosowaniu do niskooktanowej benzyny lotniczej

Poza zastosowaniem do benzyny lotniczej ETBE jako komponentu podwyższającego liczby oktanowe badano także możliwości wykorzystania do wyrównania deficytu oktanowego mieszaniny woda/metanol.

Według autora artykułu [1], wtrysk antydetonacyjny ADI (*Anti-Detonation Injection*) nie jest nową technologią. Prace publikowane w tym zakresie datuje się na lata 1913–1938 i odnoszą się one do ilości wprowadzonej wody (wtrysku wody). Gdy w 1935 r. Wright Aeronautical próbował wywołać oblodzenie gaźnika, zauważono, że silnik pracuje lepiej i osiąga niższe temperatury pracy w przypadku wstrzykiwania wody. Kiedy szeroko dostępne stały się benzyny lotnicze o liczbach oktanowych 100, 100/130 i 115/145, zanikła potrzeba stosowania ADI. Dzisiaj sytuacja staje się podobna do tej z końca lat 30. i wczesnych 40. XX wieku, ze względu na presję wycofywania związków ołowiu z benzyny lotniczej Avgas w celu ochrony środowiska naturalnego. Wiadomo, że większość silników tłokowych może stosować benzynę lotniczą o liczbie oktanowej co najmniej 12 jednostek niższej od liczby oktanowej benzyny Avgas 100LL i utrzymać odpowiedni margines działań operacyjnych dla uniknięcia spalania detonacyjnego.

W artykułach z lat 40. XX wieku pisano o badaniach wtrysku wody, który pozwala na stosowanie benzyny silnikowej o liczbach oktanowych 91 lub 87 w miejsce 100-oktanowej – dla uzyskania odpowiedniej mocy startowej. Zostało to

potwierdzone podczas testów na silniku IO-520 w 1986 r., pracującym na benzynie silnikowej o liczbie oktanowej motorowej 86,5. Chociaż woda lub alkohol mogą być stosowane samodzielnie, to mieszanina wody i alkoholu w proporcji 60/40 została uznana w 1940 r. za najbardziej korzystną. Mieszanina ta była stosowana w pracach nad uzyskaniem certyfikatu STC dla ADI w 1980 roku. Alkohol dodawany jest do wody z tego powodu, że wnosi energię do paliwa, dostarcza także tlen i obniża temperaturę zamrażania. Mieszanina wody i alkoholu w proporcji 60/40 charakteryzuje się temperaturą krzepnięcia  $-40^{\circ}\text{C}$ . Ponieważ niska temperatura wrzenia metanolu może wywoływać problemy korków parowych w systemie ADI, dodatek wody podnosi tę temperaturę. Dlatego też mieszanina woda/alkohol w proporcji 60/40 została określona jako optymalna.

Istnieje kilka różnych powodów, z których system ADI dopuszcza niżej oktanowe paliwa, ale głównie ma to związek z chłodzeniem. System ADI chłodzi tłoki, zawory, uszczelki, osady w cylindrach i głowicę cylindra, co w efekcie tłumi detonację i przedwczesny zapłon, pozwalając uzyskać więcej mocy przy mniejszej liczbie oktanowej. Głównym celem dodawania mieszaniny woda/metanol w proporcji 60/40 jest zwiększenie mocy przy stałym ciśnieniu kolektora. Jeśli moc jest stała, wymagane ciśnienie w kolektorze maleje. Dzieje się tak, ponieważ mieszanina woda/metanol obniża temperaturę ładunku, co zwiększa sprawność objętościową

silnika. Ponadto, metanol również wnosi wartość opałową do paliwa. Brytyjskie dokumenty RAE określają system ADI jako podwójny układ paliwowy, gdyż paliwo o niskiej liczbie oktanowej jest uzupełniane innym paliwem, uzupełniając deficyt oktanowy przy wysokich ustawieniach przepustnicy. System ADI jest aktywowany przez pilota po odpowiednim wskazaniu kontrolnego przyrządu pokładowego.

Innymi korzyściami stosowania wtrysku mieszaniny woda/metanol jest mniejsza skłonność paliwa do tworzenia osadów w komorze spalania. To z kolei sprawia, że mniej prawdopodobne staje się występowanie samozapłonu.

Autor [1] wyraża obawy, że metanol może działać korozyjnie na elementy silnika, jednak w konkluzji stwierdza, że gdy mieszanina woda/metanol jest wstrzykiwana w odpowiednich ilościach i we właściwych warunkach, nie ma dowodów na występowanie zjawiska korozji. Potwierdzone to zostało przez producentów silników, np. Continental IO-470 & IO-520, w których wykorzystywano system ADI w okresie dwudziestu lat, tj. latach 1989–2009. Mając na uwadze fakt, że mieszanina woda/metanol odparowuje natychmiast po wstrzyknięciu, można stwierdzić, że system ADI nie może być przyczyną korozji. Woda każdorazowo jest produktem spalania paliwa i występuje w formie pary. System ADI zmniejsza temperaturę głowicy cylindra (CHT) o  $30\div 40^{\circ}\text{C}$  i może także przyczynić się do zmniejszenia zużycia pierścieni. Dodatkowy tlen obecny w alkoholu powoduje efekt „doładowania”, dając w rezultacie spadek temperatury kolektora dolotowego powietrza. Kolejne korzyści systemu ADI to: zmniejszenie emisji tlenków azotu, zwiększenie zasięgu lotu przy danej objętości paliwa i wzrost sprawności objętościowej silnika. System ADI pozwala na

stosowanie paliwa o niższej liczbie oktanowej w silnikach oryginalnie dostosowanych do paliwa 100 i wyżej oktanowego. Dlatego też możliwość zastosowania systemu ADI mogłaby pozwolić uzupełnić deficyt oktanowy po wycofaniu etylizowanej benzyny lotniczej 100LL. Zastosowanie systemu ADI pozwala nadrobić deficyt oktanowy o 12, a nawet 15 jednostek. Badania przeprowadzone w 1980 r. udowodniły, że nowoczesne silniki o wymaganiach oktanowych 100 jednostek mogą bezpiecznie pracować na benzynie silnikowej o liczbie oktanowej motorowej nawet poniżej 87 jednostek. Dlatego też można założyć, że system ADI wykorzystywany w silnikach, pierwotnie zaprojektowanych dla paliwa 100 lub więcej oktanowego, umożliwi bezpieczne zastosowanie paliw silnikowych lub lotniczych o indeksie oktanowym 94, 91 lub mniejszym. Federalna Administracja Lotnictwa USA (FAA) optowała za wyższym wskaźnikiem oktanowym, a certyfikat uzupełniający STC dla systemu ADI został ustalony dla indeksu oktanowego (AKI) minimum 91. Należy również zauważyć, że badania starszych typów silników wykazały iż nieutwardzone gniazda zaworów charakteryzowały się obniżoną żywotnością ze względu na brak ołowiu w paliwie, który wykazywał właściwości smarujące w wysokich temperaturach pracy silnika. Dodatek 0,5 g Pb na galon (3,78 litra), tj. 0,13 g Pb/litr, wystarczyłby, aby zapobiec zjawisku degradacji tych elementów w starszych typach silników. Stąd obniżenie zawartości ołowiu o około 75% byłoby do zaakceptowania przez ekologów. Dzisiaj paliwo o wysokiej zawartości ołowiu staje się problematyczne, więc powrót do sprawdzonej i funkcjonującej w przeszłości technologii ADI wydaje się być uzasadniony.

### Próby wykorzystywania benzyny silnikowej Super Plus 98 do celów lotniczych

Ze względu na fakt wykorzystywania do zasilania silników samolotów benzyny silnikowej bezołowiowej w gatunku Super Plus 98, w niemieckim projekcie SloBiA [3] przedstawiono zagadnienia z tym związane. Wydawać by się mogło, że tańsza benzyna silnikowa Super Plus 98 (wysokooktanowa) może być użytkowana w lotniczym silniku tłokowym bez ograniczeń. Jednak przeznaczona jest ona do innego typu silników, których praca i osiągi przebiegają w warunkach innych niż w silnikach lotniczych, a obecność w benzynie silnikowej niskocząsteczkowych alkoholi może mieć negatywny wpływ na właściwości eksploatacyjne silników lotniczych. Głównym zagrożeniem jest obecność wody. Rozwiązanie tego problemu pozostaje w sferze badań. Ponieważ istnieje silna ekonomiczna presja do używania benzyn silnikowych jako paliwa lotniczego, może prowadzić to do potencjalnie niebezpiecznych sytuacji, zwłaszcza w eksploatacji mniejszych samolotów lotnictwa ogólnego. Analiza statystyczna europejskiej liczby i typów

statków powietrznych wykazała, że około 20 000 samolotów (tj. około 10%) w całej Europie będzie bezpośrednio lub potencjalnie zagrożonych przez różne negatywne skutki domieszki etanolu. Raport SloBiA przedstawia dogłębną analizę różnych potencjalnych zagrożeń, wynikających ze stosowania benzyny z zawartością do 15% etanolu w zasilaniu silników lotniczych. Przeprowadzono analizę skutków z wykorzystaniem trybu awaryjnego lądowania. Dla istniejącej floty samolotów lotnictwa ogólnego zidentyfikowano i potwierdzono poszczególne główne zagrożenia: rozdział faz, korki parowe, oblodzenie gaźnika, niekompatybilność materiałów. Rozpiętość ryzyka obejmowała zakres od „tylko uciążliwe” do „śmiertelnie niebezpieczne”. Prace teoretyczne i praktyczne prowadzono równolegle w zakresie obecności wody wywołującej rozdział faz, oblodzenia gaźnika, korków parowych, kompatybilności materiałów konstrukcyjnych oraz proaktywnego wykrywania wody w układzie paliwowym. Badania te były obwarowane



także koniecznością prowadzenia analizy cyklu życia w środowisku naturalnym związanej z dodawaniem etanolu do paliw lotniczych. Analiza cyklu życia etanolu paliwowego [8] jest niezbędna dla określenia możliwości obniżenia emisji gazów cieplarnianych.

Większość istniejących silników gaźnikowych narażona jest na różne zagrożenia, wynikające z dodatku etanolu do paliwa, co może prowadzić do przerw w pracy silnika. Niektóre z nich są łatwo wykrywalne na etapie pracy i konserwacji silnika, inne mogą wystąpić niespodziewanie podczas wykonywania lotu, nawet do tego stopnia, że silnik przestanie pracować i musi zostać wykonane lądowanie awaryjne.

Głównymi zagadnieniami do rozwiązania pozostają więc:

- kompatybilność materiałów, zwłaszcza elastomerów i innych uszczelnaczy,
- niebezpieczeństwo rozdziału faz w obecności wody, jeśli paliwo jest przechowywane przez dłuższy czas w wentylowanych zbiornikach statku powietrznego i nieustannie schładzane podczas lotu,
- zwiększone prawdopodobieństwo korków parowych ze względu na wzrost prężności par benzyny o różnych zawartościach etanolu, jeśli pierwsze pompowanie paliwa nie następuje w zimnej części układu paliwowego,
- oblodzenie gaźnika z powodu wzrostu entalpii parowania benzyny z etanolem, jeśli nie ma dodatkowego dopływu ciepła do powietrza wlotowego.

Doświadczenia w technologii pojazdów samochodowych mogą być tylko w pewnym stopniu przeniesione do warunków pracy silników lotniczych. Silniki lotnicze pracują na różnych pułapach wysokości, więc poddawane są dużym różnicom temperatur i ciśnienia. Raport [3] podaje wyniki badań i poniższe zalecenia.

Kompatybilność materiałów powinna zostać wyraźnie uwzględniona w kwalifikacji zdolności do lotu oraz procesie certyfikacji także dla części zamiennych. Ze względu na obszerne dane dotyczące wszystkich materiałów używanych w ciągu ostatnich 50 lat w konstrukcji samolotu, tylko ogólne wytyczne dla przyszłego wyboru materiału lub wymiany zostały podane we wspomnianym powyżej raporcie.

Zasadniczą kwestią w unikaniu rozdziału faz jest niezbędna kontrola występowania wody rozpuszczonej w benzynie.

### Biopaliwo syntetyczne Swift Fuel

W fazie realizacji pozostaje projekt firmy Indiana Swift Enterprises nad technologią benzyny lotniczej bezołowiowej, która mogłaby być wprowadzana na rynek podczas wycofywania etylizowanej benzyny lotniczej Avgas 100LL. Paliwo firmy Indiana Swift Enterprises jest biopaliwem syntetycznym, które może być zastosowane do zasilania

Obecnie jednak brak jest praktycznej i taniej procedury badawczej, chociaż prace w kierunku stworzenia odpowiedniego narzędzia wciąż postępują.

Analiza cyklu życia wykazała, że redukcja ilości gazów cieplarnianych (GHG) jest możliwa w przypadku stosowania tradycyjnej benzyny lotniczej z udziałem etanolu w ilościach opisanych w raporcie [3]. Zalety zastąpienia części paliw kopalnych przez biogenicznie wytwarzany etanol są związane głównie z samym procesem spalania paliwa, gdyż przy obecności etanolu w formule wytwarza ono mniejszą ilość gazów cieplarnianych.

Większość problemów przypuszczalnie zniknie, jeśli zastosowany zostanie butanol biogeny, zamiennik paliw kopalnych. Jego budowa chemiczna zapewnia znacznie większe powinowactwo do większości niepolarnych składników paliwa benzynowego. Butanol wykazuje również inne zalety. W porównaniu do etanolu charakteryzuje się większą zawartością energii oraz mniejszym wpływem na prężność par przy różnych jego udziałach w paliwie benzynowym. Obecnie jednak brak jest jeszcze komercyjnych działań związanych z butanolem, chociaż badania trwają [3]. Jeśli ta alternatywa będzie w przyszłości realizowana, to zastosowanie jej w lotnictwie wymaga wielu szczegółowych badań.

Raport SIOBiA [3] rzuca światło na obecny stan najbardziej problematycznych kwestii w odniesieniu do domieszek etanolu do benzyny lotniczej. Rozwiązanie tych kwestii wymaga dalszych badań w zakresie:

- tworzenia się pęcherzy par (zagrożenie korkami parowymi) w zależności od ilości etanolu w mieszaninie oraz różnych temperatur pracy silników lotniczych,
- wyznaczania temperatur gwarantujących brak rozdziału faz, w zależności od maksymalnych ilości wody rozpuszczonej w benzynie lotniczej, jako mającej wpływ na zdolności rozruchowe, wraz ze wzrostem zawartości etanolu,
- ilościowego oznaczania wody wchłanianej z powietrza poprzez otwór odpowietrzający zbiornik samolotu,
- badania i/lub konstrukcji praktycznego czujnika wody rozpuszczonej w benzynie lotniczej, co ma niebagatelne znaczenie ze względu na silny spadek temperatury w zbiornikach samolotu wraz ze wzrostem wysokości.

silnika bez jego modyfikacji [5]. Paliwo Swift Fuel nie zawiera alkoholu i nie pochodzi z etanolu. Jest wytwarzane z biomasy pochodzącej ze składowisk odpadów, sorgo i trzciny cukrowej. Biopaliwo Swift jest obecnie testowane na zgodność z odpowiednimi wymaganiami Federalnej Administracji Lotnictwa (FAA) i norm ASTM [5].

### Bezołowiowa benzyna lotnicza G100UL

W lutym 2010 r. firma General Aviation Modification ogłosiła, że postępują prace nad zamiennikiem bezołowiowym benzyny Avgas 100LL. Nowe paliwo o nazwie G100UL jest

wytwarzane z dostępnych produktów rafineryjnych i uzyskuje liczby oktanowe porównywalne z liczbami benzyny Avgas 100LL [1].

### Niskooktanowe i bezołowiowe benzyny lotnicze

Firma Total z kolei podjęła dwa alternatywne kierunki prac badawczych [5], które wiążą się z wycofywaniem ołowiu z benzyn lotniczych:

- opracowanie technologii produkcji benzyn bezołowiowych o niższej liczbie oktanowej, których rozpoczęcie

produkcji jest relatywnie łatwe – wymaga to jednak modernizacji istniejących silników,

- opracowanie technologii produkcji paliwa bezołowiowego odpowiadającego parametrami benzynie Avgas 100LL.

### Benzyna lotnicza bezołowiowa 94UL

Teledyne Continental Motors (TCM) ukończył w 2009 r. wykonywanie lotów i testów, których wyniki sugerują, że benzyna lotnicza bezołowiowa 94UL może być odpowiednim zamiennikiem etylizowanej benzyny lotniczej Avgas 100LL [5]. Jednak to dopiero początek drogi do uzyskania przez benzynę lotniczą bezołowiową 94UL certyfikatu paliwa. Będzie ona wymagała certyfikacji i zatwierdzenia przez FAA, a przynajmniej wydania pozwolenia, aby właściciele mogli legalnie używać jej w niektórych samolotach. TCM będzie dążyć do uzyskania zatwierdzenia benzyny lotniczej bezołowiowej 94UL jako wiodącego zamiennika etylizowanej benzyny lotniczej Avgas 100LL [5]. Benzyna lotnicza bezołowiowa 94UL spełnia wymagania odnośnie prężności par oraz innych parametrów benzyny lotniczej Avgas, z wyjątkiem zawartości ołowiu i liczby oktanowej. Cztery loty testowe w samolotach wolnosących Bonanza A36 z silnikiem IO-550-B nie wykazały żadnych problemów z chłodzeniem i detonacjami. Testy te odzwierciedlają także pracę silników serii 200 oraz serii O-470 i O-520. TCM nie prowadził jednak dotychczas standardowych testów chłodze-

nia podczas wznoszenia wymaganych przez FAA, w czasie których występują zazwyczaj detonacje [5].

Continental nie jest przeciwny zastosowaniu benzyny silnikowej jako zamiennika benzyny lotniczej 100LL, pod warunkiem zapewnienia spójności w odniesieniu do specyfikacji oktanowej, prężności par, a także dodatków tlenowych, takich jak etanol. Chociaż czysty etanol został zatwierdzony do ograniczonego stosowania w zmodyfikowanym silniku lotniczym w Brazylii, jest jednak uważany za nieodpowiedni komponent benzyny lotniczej. Wynika to z jego silnego charakteru hydrofilowego, niższej wartości energetycznej i skłonności do korozji elementów aluminiowych oraz skłonności do degradacji miękkich uszczelnień i uszczelek. Wysokooktanowa benzyna silnikowa musi jednak spełniać podstawowe wymagania oktanowe wolnosących silników.

TCM nie wykonał próbnych lotów na samolotach z silnikami turbodoładowanymi, zasilanych benzyną 94UL. Inni, którzy wykonali takie próby, sygnalizowali trudności w chłodzeniu podczas wznoszenia, nie napotykając na detonacje [5].

### Paliwa: etanol lub ETBE

Autor [6] stwierdza, że głównymi przyczynami stosowania do tej pory benzyny lotniczej etylizowanej są konserwatywne poglądy, bardzo odporne na zmiany, oraz brak opcji formuły benzyny bezołowiowej węglowodorowej, która mogłaby zastąpić Avgas 100LL – gatunek najszerzej stosowany. Dwa potencjalne paliwa – najbardziej atrakcyjne ze względu na wysokie liczby oktanowe motorowe – to etanol i ETBE. Z tych dwóch tylko dla etanolu jakość została określona normą ASTM D-4806, co jest brane pod uwagę przez FAA. W artykule zamieszczono wnioski z doświadczeń prowadzonych przez Department of Aviation Sciences: the Renewable

Aviation Fuels Development Center (RAFDC) na Baylor University w Teksasie.

Odnosząc się do technologii zastosowanych w silnikach lotniczych, autor zaznacza, że lekkie samoloty są znacznie starsze technologicznie od nowoczesnych samochodów, dlatego też są łatwiejsze do konwersji w celu korzystania z alternatywnych paliw płynnych. Główne różnice pomiędzy nowoczesnym silnikiem o zapłonie iskrowym w samochodzie a silnikiem lotniczym to:

- bezpośrednie sterowanie mieszanką z wykorzystaniem mechanicznych urządzeń pomiarowych,

- praca na niemal stałych, wysokich ustawieniach zasilania,
- uniwersalny zapłon z wykorzystaniem prądnicy ze stałym ustawieniem rozrządu,
- wentylowane zbiorniki paliwa,
- prawie zupełny brak oprogramowania na bazie elektronicznego sterowania silnikiem.

Te różnice stwarzają możliwości przystosowania silnika do zasilania paliwami alternatywnymi.

W odniesieniu do paliw lotniczych autor [6] podkreśla, że podstawowe wymagania przydatności paliwa do zastosowania w silniku lotniczym obejmują: oktanowość, stechiometrię, zmienność zakresu palności, gęstość, lepkość, smarność i wartość energetyczną. Kluczowe znaczenie może mieć także mieszalność i higroskopijność, zwłaszcza w przypadku alkoholi.

Wyniki badań wskazują, że właściwości paliw alternatywnych (alkoholi i eterów) są porównywalne lub niekiedy lepsze od benzyn, z wyjątkiem wartości energetycznej i – do pewnego stopnia – charakterystyki zimnego startu silnika. Prace nad przystosowaniem silników lotniczych do stosowania alkoholi i eterów, w ramach projektu RAFDC, dotyczyły kwestii pomiarów przy sterowaniu mieszanką, kompatybilności materiałów, ustawień rozrządu, regulacji zimnego startu, oblodzenia wlotu i ustawień zwiększonego przepływu paliwa przy odpowiednim ciśnieniu w układzie paliwowym. Dodatkowymi rozważanymi kwestiami było niebezpieczeństwo rozdziału faz oraz korków parowych, a także skutki zwiększenia gęstości paliwa w odniesieniu do masy samolotu i wszelkie zmiany w obsłudze zmodyfikowanego samolotu, zwłaszcza regulacji mieszanki.

W 1998 r., na podstawie kontraktu z FAA, RAFDC przeprowadził obszerne badania laboratoryjne i próby lotnicze czystego etanolu paliwowego ETBE i porównawczo – ben-

zyny lotniczej Avgas 100LL. Paliwa testowano w hamowni na silniku IO-360 oraz na silniku IO-540 samolotu rolniczego PA-25 „Pawnee”. Wyniki tej pracy i innych prac uzupełniających zweryfikowały brak problemów z uruchomieniem poprawnie zmodyfikowanego samolotu, który zasilany był czystym etanolem lub czystym ETBE, w porównaniu do benzyny lotniczej Avgas 100LL.

W 2001 r. po raz kolejny RAFDC, w ramach kontraktu FAA, badał mieszaniny etanol-Avgas. Obszary zainteresowania obejmowały: korki parowe, rozdział faz, całkowitą masę samolotu, gęstość paliwa, określenie zmian w sterowaniu mieszanką w całym zakresie oraz określenie wpływu na inne cechy lotu, właściwości manewrowe lub procedury operacyjne.

W konkluzji autor [6] stwierdził, że badania udowodniły możliwość poprawnej modyfikacji lekkich samolotów do zasilania etanolem. Procedury pilotażu takiego samolotu ulegną niewielkim zmianom ze względu na zmiany w: sterowaniu i kontroli mieszanki, kontroli obecności wody oraz zmniejszeniu zasięgu lotu. Wszystkie dane uzyskane dotychczas przez RAFDC wskazują, że lekkie samoloty modyfikowane do pracy na alkoholu, benzynie lub mieszaninie alkohol-benzyna są całkowicie „przyjazne” dla pilotów.

Według informacji zamieszczonych w literaturze [7], a dotyczących badań prowadzonych w projekcie RAFDC, podczas prób silnikowych z etanolem stwierdzono prawie dwukrotne wydłużenie czasu przeglądu technicznego samolotu. Nie zaobserwowano zjawisk detonacji przy stosowaniu etanolu jako paliwa. Modyfikacje objęły jedynie układ paliwowy. Ich celem było zwiększenie przepływu paliwa, które musiało zrekompensować mniejszą wartość opałową etanolu (27,2 MJ/kg w porównaniu z 44,2 MJ/kg dla benzyny lotniczej Avgas). Z testów silnikowych wynikało, że etanol może być stosowany w silnikach lotniczych o stopniu sprężania do 15.

### Paliwo AGE 85

Na Uniwersytecie Stanowym w Południowej Dakocie w 1996 r. została zapoczątkowana realizacja trzyletniego projektu dotyczącego paliwa lotniczego AGE 85 [7, 9]. Projekt realizowano w konsorcjum z South Dakota Corn Utilization Council (SDCUC) oraz U.S. Department of Agriculture (USDA). Paliwo przygotowane zostało przez The National Alternative Fuels Laboratory (NAFL) na University of North Dakota Energy & Environmental Research Center (EERC) [7]. AGE 85 charakteryzowało się liczbą oktanową motorową na poziomie 106 i właściwościami podobnymi do czystego etanolu. W USA właściwości etanolu stosowanego do celów paliwowych określa norma ASTM D 4806, natomiast w Europie – norma EN 15376, podająca także europejskie metodyki oznaczania jego właściwości [2]. W skład paliwa

AGE 85 wchodziło 80÷90% (V/V) etanolu, 0,5÷1,0% (V/V) biodiesla (w celu poprawy właściwości smarujących) oraz 10÷20% (V/V) izomeryzatu C<sub>5</sub> [6]. Paliwo to w 1999 r. uzyskało certyfikat wydany przez FAA i może być stosowane do zasilania samolotów Cessna 180/182s oraz silników O-470/UTS, które uzyskały certyfikat STC [7]. Samoloty te mogą także pracować na zwykłej etylizowanej benzynie lotniczej Avgas 100LL. Badania i certyfikacja prowadzone były na Uniwersytecie Stanowym w Południowej Dakocie w Brookings, w Great Planes Fuel Development oraz w Lake Area Technical Institute w Watertown w Południowej Dakocie, a także w Texas Skyways of Boerne w Teksasie. W testowaniu pozostają samoloty Mooney, Grumman Ag Cat, Piper Seneca i silniki Lycoming IO-360 oraz Pratt and Whitney R-1340 [7].



### Paliwo etanolowe AvAlc

Według danych literaturowych [7], w Brazylii, w Departamencie Lotnictwa na Uniwersytecie w Sao Paulo w 1995 r. także rozpoczęto prace nad zastosowaniem etanolu w lotnictwie. W 2000 r. firma Aeroalcool podjęła prace związane z uzyskaniem certyfikacji silnika Lycoming IO-540, stosowanego w samolotach Piper PA-25 i EMB 202 Ipanema. Z kolei inna firma, Neiva, przy udziale agencji CTA (Centro Technico Aeroespacial) oraz firmy Textron Lycoming i Hartzell, otrzymała w 2004 r. certyfikat dla samolotu rolniczego EMB 202 Ipanema z silnikiem Lycoming 0540-K1J5D, który może

być zasilany paliwem etanolowym AvAlc. Testy wykonane na tym silniku potwierdzają udział paliwa AvAlc w zwiększeniu mocy o ok. 5%, wydłużeniu trwałości o 20÷80% i poprawionych właściwościach ekologicznych. Według danych [6], w Brazylii rozpoczęła się produkcja seryjna tego samolotu. W przyszłości planowana jest certyfikacja samolotów produkowanych przez firmę Embraer, takich jak: Sertanejo, Minuano, Carioca, Corisco, Neiva P-56 and Cap-4, Piper PA-18, Seneca-Cessna 182 Skylane oraz Cessna 188 Agwagon, do pracy na paliwie etanolowym.

### Projekty CRC dla paliwa UL Avgas

Raport [10] zawiera wyniki wielu badań w zakresie testów laboratoryjnych i prób silnikowych wykonywanych przez Grupę ds. Rozwoju CRC UL Avgas w latach 2000–2007. Celem prac grupy było prowadzenie badań i testów, które ułatwią rozwój następnej generacji benzyny lotniczej, a także zapewnienie dostępności wymaganych informacji technicznych dla rozwoju bezołowiowej benzyny lotniczej, która spełni wymagania zarówno obecnych, jak i przyszłych silników floty lotnictwa ogólnego. Raport zawiera dane techniczne, które są udostępniane przemysłowi dla ułatwienia procesu decyzyjnego branży w stosunku do bezołowiowej benzyny lotniczej. Działania przemysłu w zakresie opracowania bezołowiowej benzyny lotniczej, będącej alternatywą dla etylizowanej benzyny Avgas 100LL, rozpoczęto w 1990 r. i nadal są one kontynuowane. Testom poddano ponad 279 eksperymentalnych mieszanin bezołowiowej benzyny wysokooktanowej. Zidentyfikowano krytyczne właściwości paliwa. Dokonano analizy statystycznej wyników i oceny danych laboratoryjnych. Podczas gdy inne projekty skoncentrowane były na ocenie etanolu jako alternatywnego paliwa lotniczego, projekty CRC UL Avgas Development Group dotyczyły paliw węglowodorowych z dodatkiem wybranej liczby komponentów w celu zwiększenia liczby oktanowej. Do badań wykorzystano alkilat lotniczy i alkilat silnikowy. Jako dodatki zastosowano toluen, ETBE, m-toluidynę, super alkilat, MMT, izopentan, t-butylobenzen i etanol.

W pierwszej fazie projektu w 2000 r. [10] badano możliwości osiągnięcia jak najwyższej liczby oktanowej, wykorzystując bazę komponentów węglowodorowych oraz komponenty niewęglowodorowe, jak etanol, w około 202 mieszaninach. Następnie skupiono się na mieszaninach węglowodorowych z wykorzystaniem sześciu komponentów podnoszących liczbę oktanowe. Wyniki badań poddano analizie statystycznej. Niektóre mieszaniny uzyskały wartości LOM w zakresie 100÷104 jednostek. Ponieważ celem badań

było osiągnięcie najwyższej możliwej liczby oktanowej, inne właściwości w tej fazie projektu nie były oceniane.

W fazie drugiej projektu [10] kontynuowano badania na 30 mieszaninach o liczbach oktanowych motorowych 97÷105, wyselekcjonowanych z mieszanek badanych w fazie pierwszej. 15 badanych próbek składało się z mieszanin alkilatu lotniczego i właściwego udziału sześciu różnych komponentów wysokooktanowych. Z kolei następne 15 paliw składało się z alkilatu silnikowego, również w mieszaninie z właściwym udziałem sześciu różnych komponentów wysokooktanowych. W testach FAA użyto silnika Lycoming o wysokim stopniu kompresji IO-540-K, natomiast silnik Lycoming IO-360 został użyty w testach Cessny. Celem tych badań była ocena właściwości antydetonacyjnych bezołowiowych mieszanin paliwowych w krytycznych fazach lotu na reprezentatywnych silnikach. Wyniki testów porównywano z testami na paliwie Avgas 100LL. W tej fazie projektu dokonano oceny osiągnięć silnika i jego właściwości dla każdego badanego paliwa bezołowiowego. Wyniki badań wykazały, że niektóre z paliw bezołowiowych w badanych silnikach zapewniały pracę bezstukową. Ponieważ głównym celem badania było uzyskanie właściwego poziomu liczby oktanowej, właściwości takie jak: prężność par, wartość opałowa, temperatura zamarzania i skład frakcyjny nie były brane pod uwagę, i w większości przypadków nie spełniały wymagań normy ASTM D910. Wśród badanych mieszanin nie znaleziono takiej, która spełniałaby wszystkie wymagania ASTM D910, a jednocześnie zapewniałaby podobny poziom oktanowości jak benzyna etylizowana Avgas 100LL.

W fazie trzeciej projektu w latach 2005–2006 [10] testowano 47 mieszanin benzyny bezołowiowej z wcześniejszych badań na silniku wolnoścącym o wysokim współczynniku kompresji Lycoming IO-540-K – jako przedstawicielu modelu lotnictwa ogólnego. Rezultaty testów wykazały, że niektóre badane mieszaniny benzyny bezołowiowej oferowały

równoważną satysfakcję oktanową silnika jak w przypadku benzyny lotniczej Avgas 100LL, jednak nie stwierdzono, aby jednocześnie spełniły one wszystkie wymagania ASTM D910.

W czwartej fazie projektu [10] testowano paliwa etylizowane i bezołowiowe o podobnej liczbie oktanowej. Celem było wyjaśnienie, czy etylizowane i bezołowiowe paliwa, w przypadku oznaczania liczb oktanowych w tym samym laboratorium, oferowały taką samą pracę oktanową silnika. Przygotowano dwa paliwa: Avgas 100LL i 91/98 Avgas. Oba produkty spełniały wszystkie wymagania ASTM D910, z wyjątkiem barwy w paliwie 91/98 Avgas, które pozostało bezbarwne. Benzyna Avgas 100LL zawierała maksymalną dopuszczalną ilość ołowiu, podczas gdy benzyna 91/98 Avgas zawierała 90% dawki maksymalnej. Oktanowość obu paliw testowych (ołowiowego i bezołowiowego) określono metodą ASTM D2700 – dla LOM, i metodą ASTM D909

– dla liczby wyczynowej. Wysokooktanowe paliwa badano w silniku Lycoming IO540-K, a średniooktanowe w silniku B-Lycoming IO-320. Paliwa były poddawane wymuszeniu lekkich detonacji poprzez równoczesne zubożenie mieszanki i zwiększenie ciśnienia w kolektorze. W warunkach testu zarówno benzyna etylizowana Avgas 100LL, jak i benzyna 91/98 Avgas oferowały lepsze zachowanie się oktanowe silnika w porównaniu z paliwami bezołowiowymi o równoważnej liczbie oktanowej motorowej. Wyniki wskazywały, że różnice w osiągnięciach mogły wynieść do około 3 jednostek MON i były bardziej zauważalne dla paliw o wyższej oktanowości. Szczegółowe wyniki badania silników były opublikowane przez AFETF FAA, a raport ten podkreślił znaczenie zrozumienia krytycznego związku między procedurami laboratoryjnymi stosowanymi do kontroli jakości benzyny lotniczej, technologią paliwa i osiągnięciami rzeczywistego silnika.

### Paliwo ultraniskołowiowe Avgas 100ULL

W publikacji z lipca 2010 r. autor [4] analizuje możliwości zastosowania eteru ETBE do formuły benzyny lotniczej i ograniczenia w ten sposób części związków ołowiu lub całkowitej ich eliminacji. Według danych literaturowych [4], badania paliwa lotniczego do samolotu Cessna prowadzone w latach 1997–2002 były okazją do poznania różnic pomiędzy etylizowaną benzyną lotniczą Avgas 100LL (maks. 56 gPb/l) a benzyną lotniczą ultraniskołowiową Avgas 100ULL (maks. 28 gPb/l), skomponowaną z dodatkiem ETBE. Jakość ETBE, który może być wykorzystywany do celów lotniczych, podaje norma ASTM D7618-10 *Standard Specification for Ethyl Tertiary-Butyl Ether (ETBE) for Blending with Aviation Spark-Ignition Engine Fuel*. FAA wykazuje wolę recertyfikacji floty lotnictwa ogólnego, pod warunkiem, że benzyna lotnicza ultraniskołowiowa z ETBE spełni wszystkie wymagania ASTM D910 przewidziane dla gatunku Avgas 100LL. Zastosowanie ETBE w Avgas 100ULL w porównaniu do Avgas 100LL:

- pozwala zredukować o połowę zawartość ołowiu bez straty na liczbach oktanowych,
- pozwala uzyskać niewielki przyrost mocy silnika, z równoczesną poprawą zużycia paliwa, pomimo mniejszej ilości energii uzyskanej podczas spalania,
- pozwala ograniczyć występowanie korków parowych,
- pozwala poprawić cechy kompatybilności materiałów,
- pozwala poprawić stabilność chemiczną w czasie długoterminowego magazynowania,
- wykazuje takie same skłonności do oblodzenia gaźnika jak Avgas 100LL,
- nie wymaga zmian w pracy gaźnika w środowisku gorącego powietrza,

- oferuje porównywalną charakterystykę startu, z ograniczeniem zalewania i zanieczyszczeń świec zapłonowych,
- spełnia wymaganie, aby jasność płomienia była porównywalna z tą występującą przy spalaniu Avgas 100LL,
- nie wymaga modyfikacji lub zmian działania silnika przy stosowaniu mieszanin poniżej 50% ETBE,
- spowoduje, że około 7% floty z opomiarowaniem pojemnościowym układów paliwowych wymagać będzie drobnych zmian, z powodu zmiany w charakterystyce dielektrycznej paliwa z ETBE,
- powoduje straty ciepła spalania rzędu 4,9÷8,1% dla zawartości ETBE 30÷50%, nie zagrażając funkcjom odmrażania szyb oraz ogrzewania kabiny,
- redukuje całkowitą ilość węglowodorów i CO w spalinach, dając porównywalne ilości CO<sub>2</sub> i wyższe ilości aldehydów,
- spełnia wymagania składu frakcyjnego dla benzyny lotniczej z wyjątkiem wymagań odnośnie limitu temperatury 40% (V/V) odparowania,
- powoduje uzyskiwanie zazwyczaj niższych i bardziej jednolitych temperatur destylacji, co przyczynia się do: poprawy jednorodności mieszaniny paliwo/powietrze, obniżenia tendencji do tworzenia korków parowych, ograniczenia zalania silnika i zanieczyszczania świec zapłonowych,
- powoduje, że mieszanina nie jest kompatybilna z dodatkiem przeciw zamarzaniu – DIGME, natomiast jest kompatybilna z innym rekomendowanym dodatkiem – izopropanolem.

Zarys programu przejścia do bezołowiowej benzyny lotniczej zaproponowany w [4] jest następujący:

⇒ Faza 1, w której proponuje się:



- w pełni wykorzystać doświadczenia na samolocie Cessna z paliwem ETBE,
  - specyfikacja paliwa etylizowanego 100LL jest podstawą do zdefiniowania powtarzalnej jakości paliwa,
  - walidacja wyników badań powinna zostać przeprowadzona na aktualnej flocie samolotowej i w ekwiwalentnych testach silnikowych hamownianych z wykorzystaniem paliwa Avgas 100LL i Avgas 100ULL,
  - testy silnikowe na hamowni i loty próbne są konieczne do ustalenia zawartości ETBE w mieszaninie,
  - wymagana jest walidacja laboratoryjnych metod badań parametrów jakościowych w celu ustalenia specyfikacji jakościowej paliwa,
  - projekt specyfikacji jakościowej paliw musi uwzględniać wyniki walidacji metod silnikowych i laboratoryjnych,
  - walidacja w testach silnikowych na hamowni oraz w lotach próbnych musi być prowadzona we współpracy z producentami samolotów i płatowców oraz silników lotniczych,
  - wymagana jest kontrola serwisowa testów dla własnej floty samolotów, używającej wyłącznie paliwa Avgas 100ULL, dla potwierdzenia nowej, wstępnej specyfikacji,
  - zakończenie fazy 1 przewidziano w ciągu dwóch lat, przy odpowiednich działaniach wspierających przejście na nowe paliwo.
- ⇒ Faza 2 zakłada, że:
- nowo opracowane paliwo Avgas 100ULL powinno stanowić bazę do prac nad benzyną bezołowiową Unleaded Avgas,
  - faza 2 powinna być prowadzona równoległe z fazą 1 w zakresie właściwości produktu,
  - ponownie powinny być przeprowadzone testy silnikowe na aktualnej flocie samolotowej i ekwiwalentne testy silnikowe hamowniane z wykorzystaniem paliwa Avgas 100LL oraz proponowanego paliwa Unleaded Avgas,
  - testy te są niezbędne do wyznaczenia limitów różnych składów komponentowych mieszanin bezołowiowych,
  - rafinerie muszą przygotować odpowiedniej jakości węglowodory, takie jak alkilaty i inne, na rzecz rozwoju bezołowiowego paliwa lotniczego,
  - udział w rozwoju innych, przeszłych i bieżących działań niezależnych należy poważnie rozważyć oraz włączyć w tę fazę programu, jeśli jest to uzasadnione względami technicznymi i praktycznymi,
  - powinien być badany wpływ dodatków polepszających osiągi w mieszaninach z ETBE,
  - walidacja w testach silnikowych na hamowni oraz w lotach próbnych musi być prowadzona we współpracy z producentami samolotów i płatowców oraz silników lotniczych,
  - wymagana jest walidacja laboratoryjnych metod badań parametrów jakościowych w celu ustalenia specyfikacji jakościowej paliwa,
  - wstępna specyfikacja jakościowa Unleaded Avgas będzie bazować na danych walidacji silnikowych i badań laboratoryjnych,
  - wymagana jest kontrola serwisowa testów dla własnej floty samolotów, używającej wyłącznie paliwa Avgas 100ULL, dla potwierdzenia nowej, wstępnej specyfikacji,
  - zakończenie fazy 2 przewidziano w ciągu 8 lat, przy odpowiednich działaniach wspierających bezpieczne przejście na nowe paliwo.

### Podsumowanie

Na świecie prowadzone są badania nad opracowaniem odpowiedniej formuły bezołowiowej benzyny lotniczej, przy współpracy z wytwórcami silników lotniczych. Projekty badawcze w zakresie bezołowiowych benzyn lotniczych dotyczą zastosowania w ich formule eterów alkilowych, amin aromatycznych, MMT, etanolu i ich kombinacji. Wszelkie dodatkowe pozarafineryjne komponenty są w stanie podnieść liczby oktanowe do określonych poziomów, jednak w przypadku benzyny lotniczej wyważone muszą zostać

proporcje poszczególnych komponentów, aby uzyskać zarówno właściwe liczby oktanowe, jak i właściwą wartość opałową paliwa, przy zachowaniu odpowiedniej prężności par i składu frakcyjnego. Przyszłe technologie bezołowiowej benzyny lotniczej muszą mieć – przede wszystkim – na uwadze możliwość kompensacji niższych wartości liczb oktanowych. W proces przejścia na stosowanie lotniczej benzyny bezołowiowej muszą być zaangażowani wszyscy uczestnicy rynku lotniczego.

Prosimy cytować jako: Nafta-Gaz 2013, nr 7, s. 552–561

Artykuł powstał na podstawie pracy statutowej INiG DK-4100-6/12 (0006/TP/12) pt.: *Przegląd światowego rynku bezołowiowych benzyn lotniczych*, która została zrealizowana w ramach zlecenia Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

## Literatura

- [1] Anti-Detonation Injection & Low Octane Fuel. Resolving the Octane Deficit, Todd L. Petersen, Petersen Aviation, Inc., [www.hjelmco.com/upl/files/73220.pdf](http://www.hjelmco.com/upl/files/73220.pdf) (dostęp: luty 2013).
- [2] Burnus Z., Jędrychowska S., Kopydłowski A., Wieczorek A.: *Przegląd metod analitycznych stosowanych w oznaczaniu właściwości bioetanolu*. Nafta-Gaz 2011, nr 6, s. 410–416.
- [3] Esch T., Funke H., Roosen P.: *SloBiA – Safety Implication of Biofuels in Aviation*; European Aviation Safety Agency; Aachen University of Applied Sciences; EASA Report No. EASA.2008.C51, July 7, 2010, [www.easa.europa.eu/safety-and-research/research-projects/docs/miscellaneous/Final\\_Report\\_EASA.2008-6-light.pdf](http://www.easa.europa.eu/safety-and-research/research-projects/docs/miscellaneous/Final_Report_EASA.2008-6-light.pdf) (dostęp: luty 2013).
- [4] Gonzales C.: *Path to an unleaded grade UL Avgas*. EAA Airventure, Oshkosh, Wisconsin, 29 July 2010, [www.hjelmco.com/upl/files/43662.pdf](http://www.hjelmco.com/upl/files/43662.pdf) (dostęp: luty 2013).
- [5] Informacje z International Fuels Quality Center, niepublikowane, czerwiec 2012.
- [6] Johnson G. W.: *Use of Alternate Fuels in Light Aircraft*. SAE, Inc. 2001-01-1539.
- [7] Pągowski Z.: *Potencjalne możliwości zastosowania biokomponentów w silnikach lotniczych*. Prace Instytutu Lotnictwa 2005, nr 183.
- [8] Rogowska D., Lubowicz J.: *Analiza możliwości obniżenia emisji gazów cieplarnianych w cyklu życia bioetanolu paliwowego*. Nafta-Gaz 2012, nr 12, s. 1044–1049.
- [9] ScienceDaily (July 20, 1999) – GRAND FORKS, N.D. – *Piston-engine aircraft will soon be able to use a new low-cost, lead-free alternative fuel that is based largely on ethanol and other agricultural products*, [www.sciencedaily.com/releases/1999/07/990720083151.htm](http://www.sciencedaily.com/releases/1999/07/990720083151.htm) (dostęp: luty 2013).
- [10] Wilkinson R. E.: *Research results unleaded high octane aviation gasoline*. Final report CRC Project no. AV-7-07, June 2010, Coordinating Research Council, Inc. 3650 Mansell Road Suite 140 Alpharetta, GA 30022, [www.crao.org/reports/recentstudies2010/AV-7-07/AV-7-07%20Final%20Report%206-18-10.pdf](http://www.crao.org/reports/recentstudies2010/AV-7-07/AV-7-07%20Final%20Report%206-18-10.pdf) (dostęp: luty 2013).
- [11] [www.hjelmco.com/pages.asp?r\\_id=14006](http://www.hjelmco.com/pages.asp?r_id=14006) (dostęp: luty 2013).



Dr inż. Martynika PAŁUCHOWSKA  
Główny specjalista badawczo-techniczny  
w Zakładzie Paliw i Procesów Katalitycznych.  
Instytut Nafty i Gazu  
ul. Lubicz 25A  
31-503 Kraków  
E-mail: [paluchowska@inig.pl](mailto:paluchowska@inig.pl)

## ZAKŁAD PALIW I PROCESÓW KATALITYCZNYCH

Zakres działania:

- opracowywanie, rozwijanie i wdrażanie technologii produkcji LPG, benzyn silnikowych, paliw lotniczych, olejów napędowych, biopaliw I i II generacji oraz olejów opałowych, prowadzenie nadzoru technologicznego nad opracowanymi i wdrożonymi technologiami;
- ocena i atestacja komponentów paliwowych, w tym biokomponentów I i II generacji oraz komponentów ze źródeł alternatywnych;
- opracowywanie technologii uszlachetniania paliw i biopaliw silnikowych oraz olejów opałowych i rozpuszczalników, dobór odpowiednich dodatków uszlachetniających;
- wykonywanie badań i ekspertyz dotyczących jakości paliw i biopaliw silnikowych, olejów opałowych, rozpuszczalników i ich komponentów oraz ocena zgodności ze specyfikacją;
- ocena skażenia mikrobiologicznego paliw w systemie produkcji i dystrybucji;
- ocena właściwości niskotemperaturowych olejów napędowych i opałowych;
- badania stabilności pozostałościowych olejów opałowych i kompatybilność ich komponentów;
- opracowywanie, rozwijanie i wdrażanie nowych wodorowych procesów katalitycznych, ocena testowa i procesowa katalizatorów stosowanych w przemyśle rafineryjnym w procesach zeoformingu, hydroodsierczania, hydrorafinacji i katalitycznego odparafinowania;
- ocena oddziaływania na środowisko paliw, biopaliw i innych produktów pochodzących z przemysłu rafineryjnego i petrochemicznego w oparciu o analizę cyklu życia produktu (LCA).

**Kierownik:** mgr inż. Jan Lubowicz

**Telefon:** 12 617-76-69

**Adres:** ul. Łukasiewicza 1, 31-429 Kraków

**Faks:** 12 617-75-22

**E-mail:** [jan.lubowicz@inig.pl](mailto:jan.lubowicz@inig.pl)