

# LOTNICZE PALIWA I OLEJE

Zbigniew Pągowski  
Instytut Lotnictwa

## Streszczenie

W artykule przedstawiono aktualny stan wykorzystywanych w lotnictwie paliw i olejów smarnych z przytoczeniem cech tych cieczy na tle warunków wynikających z rodzaju lotnictwa i realizowanych misji. Opisano tendencje zastępowania paliw i olejów pochodzenia mineralnego, o wyczerpujących się źródłach kopalnych, paliwami i olejami pochodzenia organicznego - odtwarzalnymi(!).

**Słowa kluczowe:** biopaliwa, oleje i paliwa syntetyczne, lepkość, liczba oktanowa

Era ropy naftowej zmieniała oblicze świata, ale się kończy. Dostępne zasoby światowe ropy naftowej bowiem nadspodziewanie szybko kurczą się, a zapotrzebowanie na nią niebezpiecznie rośnie (obecnie średni roczny przyrost zużycia ropy sięga 3-4 %). Ocenia się, że ropa wyczerpie się za ok. 40 lat. Ceny ropy w krajach występowania jej źródeł zaczynają wpływać na politykę krajów ją importujących i mają swój udział w społecznych i politycznych procesach wielu państw świata.

Ogromną zaletą ropy naftowej było i jest to, że mimo różnego składu chemicznego w zależności od pochodzenia złoża ropy, wszystkie jej składniki: produkty destylacji, jak i pozostałości podestylacyjne (bituminy, asfalty) są w pełni wykorzystywane w gospodarce (tabela nr 1). Skład elementarny ropy naftowej zależy od złoża i jest zmienny: C = 80 ... 90%, H = 10 ... 17%, O = 0,1 ... 7,0%, N = 0 ... 1%, S = 0 ... 5%.

**Tabela 1. Skład produktów otrzymywanych z różnych złóż ropy naftowej.**

SKŁAD PRODUKTÓW OTRZYMANYCH Z RÓŻNYCH ZŁÓŻ ROPY NAFTOWEJ [v/v %]			
Przykładowe pochodzenie złoża	Ciężka ropa wenezuelska	Ciężka ropa arabska	Lekka ropa nigeryjska
Benzyna	3	21	33
Nafta	6	14	20
Lekkie oleje	26	10	16
Ciężkie oleje	-	28	30
Pozostałe ciężkie składniki (bituminy, asfalty)	58	27	1

Skład elementarny dwóch podstawowych paliw lotniczych: benzyny lotniczej do silników tłokowych i nafty lotniczej do silników turbinowych jest dość podobny i zawiera C = 84...87%, H = 13...16% - przy czym oczywiście benzyny zawierają lżejsze frakcje, a więc więcej wodoru niż nafta lotnicza. Skład chemiczny paliwa lotniczego to tysiące różnych związków i dodatków zawierających śladowe ilości także innych pierwiastków. Proces kształtowania własności paliw wciąż jest doskonalony.

Obecnie rozwój dotyczy głównie paliw do lotniczych silników turbinowych: odrzutowych, śmigłowych i śmigłowcowych, ponieważ zużycie nafty lotniczej stanowi 98 % a benzyn zaledwie 2 % całego zużycia paliwa lotniczego stanowiącego jednak tylko ok. 4% rynku paliw płynnych. Benzyny są zużywane głównie przez małe lotnictwo tzw. General Aviation – tj.: agrolotnictwo, aerokluby, samoloty turystyczne, przeciwpożarowe, taksówki powietrzne itp. głównie wyposażone w silniki tłokowe.

Wymagania na paliwa lotnicze zmieniają się wraz z upływem lat i konstrukcją silników, najpierw silników tłokowych, a następnie nadal usprawnianych silnikach turbinowych (znaczny wzrost stopnia sprężania sprężarek i obciążeń cieplnych wtryskiwaczy), które są używane w lotnictwie o znacznie zróżnicowanych warunkach pracy, szczególnie w lotnictwie bojowym a także pociskach sterowanych. Ważne elementy tych wymagań wymusza interakcja materiałowa pomiędzy paliwem a elementami układu paliwowego silnika włącznie z konstrukcją samolotu, który stanowi z uwagi na zbiorniki mieszczące się także w skrzydłach, statecznikach jego integralną część. Przy prędkościach powyżej 4Ma konieczne jest stosowanie paliw endotermicznych, uspokajających interakcję materiałową i degradację chemiczną samego paliwa z uwagi na absorbowanie dużych ilości ciepła pochodzących z oporu aerodynamicznego, gdyż powierzchnia skrzydeł, w których są umieszczone zbiorniki może się nagrzewać do temp. rzędu 400°C.

W silnikach turbinowych samolotów bojowych paliwo ma także dodatkowe funkcje i jest wykorzystywane jako np. ciecz robocza w układach sterowania i automatycznej regulacji układu paliwowego, do sterowania dysz w systemach sterowania wektorem ciągu i dopalaczy, co wymusza dodatkowe cechy paliwa jako cieczy roboczej.

Paliwa są klasyfikowane przy tym jako niebezpieczne preparaty tj.: skrajnie łatwopalne, działające szkodliwie na drogi oddechowe, w kontakcie ze skórą i po połknięciu, stwarzające poważne zagrożenie zdrowia w następstwie długotrwałego kontaktu i kumulacji w organizmie, powodujące uszkodzenie płuc, wysuszenie lub pęknięcie skóry, także niebezpieczne dla środowiska naturalnego, toksycznie działające na organizmy zwierzęce mogące powodować długo utrzymujące się niekorzystne zmiany środowiska.

Wspólne wymagania na silnik o ZI i paliwo, o czym warto wiedzieć, postawili już bracia Wright. Pierwszym paliwem lotniczym była benzyna samochodowa o liczbie oktanowej ok. 38 wg dzisiejszych wymagań i metod oceny, wyprodukowana przez Standard Oil Company, która zasiliała wówczas ok. 80% rynku w USA. Jako oleju smarowego użyto wówczas oleju mineralnego Mobiloil „A” z Mobiloil Company.

W pierwszym locie braci Wright dnia 17 XII 1903 roku zaczęła się więc historia paliw i olejów smarnych lotniczych. Wówczas nie było żadnych standardów ani oceny jakości benzyny – jako paliwa tak samochodowego jak i lotniczego praktycznie do samego końca I wojny światowej. Dzięki intensywnym pracom badawczym procesu detonacji opracowano w 1928 roku specjalny silnik CFR (skrót od Cooperative Fuel Research) o zmiennym stopniu sprężania umożliwiając badanie liczby oktanowej benzyn MON i RON, odpowiednio tzw. badawczej/motorowej tj. Motor/Research Octane Number, przez porównanie z testowym izooktanem, którego liczbę oktanową przyjęto za 100. Liczba RON bada się w silniku CFR przy 600 1/min, a MON 900 1/min. RON odpowiada własnościom paliwa w silniku pracującym pod niskim obciążeniem, MON w silniku wysoko obciążonym. MON jest zwykle niższa o około 10 punktów Z uwagi na różne zachowanie się testowanej benzyny w w/w warunkach wprowadza się często uśrednioną wartość (tab. nr 2).

**Tabela 2. Porównanie liczby oktanowej**

PORÓWNANIE LICZBY OKTANOWEJ			
Parametr	MON	RON	(M+R)/2
Średnia wartość	87.9	98.5	93.2

Po przebadaniu blisko 30 000 różnych dodatków, pozwalających na uniknięcie spalania detonacyjnego stosowano w benzynach lotniczych głównie, odkryty w 1921 roku czteroetylen ołowiu  $Pb(C_5H_5)_4$  tzw. T.E.L. Wkrótce powstały „prawdziwe” znormalizowane paliwa lotnicze. Skuteczność dodawania czteroetylku ołowiu malała ze wzrostem jego ilości, normy więc ograniczyły ilość dodawanego składnika.

Wymagania co do cech jakie powinny mieć benzyny lotnicze były zmieniane (formalnie wraz z upływem lat) w miarę rozwoju silników i obszarów wykorzystywania lotnictwa. W okresie powszechnego wykorzystywania silników tłokowych, a więc praktycznie do końca II wojny światowej, wymagania dotyczące cech i właściwości benzyn wynikały z dwóch obszarów - rozwoju konstrukcji silników i wymagań wynikających ze specyfiki ciągle rozszerzanego zakresu działań lotnictwa dotyczących głównie wysokości i prędkości lotu, a także działania w różnych strefach klimatycznych. Spowodowało to szybki rozwój silników umożliwiający sprostanie tym wymogom, ale i konieczność rozszerzenia cech użytkowych paliw. Paliwa lotnicze zmieniały się powoli, choć rosła ich liczba oktanowa w 1903 - 38, 1910 - 58, 1934 - 92, ale już w tym samym roku 1934 powstał aktualny do dziś standard dla benzyny lotniczej Avgas 100/130 o liczbie oktanowej MON=100 i RON =130.

### **Benzyne lotnicze**

Obecnie podstawowa gama paliw w lotniczych silnikach o zapłonie iskrowym obejmuje 3 gatunki benzyn różnej zawartości czteroetylku ołowiu i własnościach zróżnicowanych w handlu kolorem odpowiednio:

- niskoołowiowa (Avgas 80) w kolorze czerwonym
- średnioołowiowa 100LL (Avgas 100LL) w kolorze niebieskim
- wysokoołowiowa -100 (Avgas 100) w kolorze zielonym

W skład benzyn wchodzi różne dodatki zawierające związki przeciwstukowe, barwiące, przeciw utleniające, antyelektrostatyczne. Ważniejsze własności aktualnie stosowanych benzyn zawarto poniżej (tab. nr 3).

W Polsce stosowana jest benzyna lotnicza 100LL, o wartości opałowej ok. 32 MJ/dm<sup>3</sup> produkowana w OBR Płocku lub sprowadzana przez różne firmy. Może być stosowana do wszystkich typów silników lotniczych i jest wzajemnie mieszalna zarówno podczas magazynowania jak i w eksploatacji, w zbiornikach samolotów (jeśli jest oznakowana kodem NATO F18). W niewielkich ilościach produkowana jest również benzyna lotnicza B 91/115 stosowana w b. małych ilościach w silnikach ASz-62IR samolotów „Dromader”, AI-14R w samolotach „Wilga”. oraz benzyna lotnicza 95 do ultralekkich samolotów i lotni. Benzyny lotnicze należy przechowywać w opakowaniach chroniących paliwo przed dostępem powietrza, wilgoci i zanieczyszczeń mechanicznych, w miejscach zabezpieczonych przed bezpośrednim działaniem promieni słonecznych, ogrzewaniem itp.

Od kilku lat próbuje się zastosować bezołowiowe benzyny samochodowe z uwagi na ograniczoną dostępność benzyny lotniczej w wielu krajach (w skrócie w lotnictwie przejęła się nazwa Mogas) – nie wszyscy producenci silników wyrażają na to zgodę i stanowi to wciąż otwarty problem dla lotnictwa, głównie z uwagi na odporność detonacyjną i zawartość związków tlenowych w benzynach samochodowych, co sprzyja chłonięciu wody przy nieumiejętnej obsłudze.

**Tabela 3. Właściwości benzyny lotniczej**

WŁAŚCIWOŚCI	GATUNEK BENZYNY LOTNICZEJ		
	80	100LL	100
Polska		NO-91-A235	
USA	ASTM D910		
Francja	AIR 3401/1		
Wielka Brytania (Joint Service Designations).	AVGAS 80	AVGAS 100LL	AVGAS 100
Kod NATO	-	F18	-
Kolor	CZERWONY	NIEBIESKI	ZIELONY
Liczba oktanowa motorowa MON	80	99.5	99.5
Gęstość ( na ogół ok. 700-780 kg/m <sup>3</sup> )	raport		
Liczba oktanowa badawcza RON	87	130	130
Zawartość czteroetylku ołowiu g PB/litr	0.14	0.56	1.12

### **Paliwa do tłokowych silników o zapłonie samoczynnym (ZS)**

Z uwagi na powszechne wprowadzenie po II wojnie do lotnictwa wojskowego turbinowych silników odrzutowych, a od lat 60-ych ubiegłego wieku także do komunikacji lotniczej, w efekcie ilość zużywanych obecnie benzyn lotniczych jest b. mała, istnieją kłopoty z magazynowaniem ich szczególnie na dużych lotniskach. Duży postęp w samochodowych silnikach o ZS zasilanych olejami napędowymi spowodował, że odżyła także idea jednolitego paliwa dla lotnictwa – paliwa stosowanego w turbinowych silnikach lotniczych typu Jet A. Pierwsze silniki o ZS tego typu i samoloty już certyfikowano lub są w trakcie certyfikacji. Gwałtownie wzrasta zainteresowanie nimi tak w zastosowaniach cywilnych jak i w wojsku szczególnie w samolotach i śmigłowcach bezpilotowych (niższe zużycie paliwa, większa długotrwałość lotu).

Obecnie rośnie zainteresowanie silnikami o ZS w lotnictwie z uwagi na wzrost cen paliw jak i dążenie, szczególnie po wojnie w Zatoce Perskiej, tak w wojskach lądowych jak i siłach powietrznych, do powszechnej dostępności i dążności do ujednoczenia rodzaju paliwa w lotnictwie na naftę lotniczą typu JetA1.

### **Nafta lotnicza**

W Anglii Frank Whittle już w 1930 roku jako paliwa do skonstruowanego przez siebie pierwszego turbinowego silnika odrzutowego użył zwykłej lekkiej nafty oświetleniowej. W Niemczech dr Hans von Ohain, który opatentował swoją konstrukcję w 1936 zastosował jako paliwo benzynę lotniczą. Przekonano się wkrótce, że najlepszym paliwem dla silników odrzutowych będzie nafta, po odpowiednim jej ulepszeniu, nazywana lotniczą. Tak powstało w 1944 roku amerykańskie paliwo o symbolu JP-1 (Jet propellant) o dobrych własnościach dla silników odrzutowych, choć jeszcze dość zbliżone do benzyny. Kolejne efekty w rozwoju paliw i silników rewolucjonizowały światowe lotnictwo. JP-8 jest obecnie podstawowym paliwem w NATO. Modyfikacje paliw były i są koniecznością ze względu na dążność do zwiększenia zasięgu, prędkości i wysokości lotu samolotów odrzutowych tak komercyjnych jak i bojowych. Odrzutowe samoloty bojowe nierzadko podczas misji lotniczych przekraczają wysokość 20 km (panują tam temperatury bliskie – 80°C, ciśnienie powietrza poniżej 55 hPa i jego gęstość = 0,09 kg/m<sup>3</sup>) i prędkości lotu przekraczające Ma 2. Podczas lotu z tak dużymi prędkościami wiele zewnętrznych części konstrukcji płatowca nagrzewa się do temperatur bliskich 250°C. Podczas dłuższego lotu z wymienioną prędkością należy się liczyć z nagraniem ścian zbiorników paliwa do temperatur o podobnej

wartości. Ważną cechą staje się więc stabilność termiczna paliw ulepszana różnymi dodatkami. Z chemicznego punktu widzenia paliwa te składają się z:

- 40-70% parafin
- 28-30 % cyklicznych parafin
- 20-27 % węglowodorów aromatycznych

W turbinowych silnikach odrzutowych obecnie paliwa dzielą się na paliwa stosowane:

- w lotnictwie cywilnym wg IATA : JetA-1, Jet A Jet B
- w lotnictwie wojskowym wg kodów NATO i Stanag 3747 odpowiednio: F-35, F-34 (JP8), F 40, F 44

W Polsce stosowane są paliwa Jet A1, F 35, F 34 (F44 w ograniczonym zakresie) produkowane przez Rafinerię Płocką i Gdańską lub oferowane przez firmy zagraniczne. Podstawowe ich własności zawarto poniżej (tab. nr 4).

**Tabela 4. Właściwości paliw stosowanych w Polsce**

WŁAŚCIWOŚCI	GATUNEK PALIWA		
	Jet A-1, F 35	F 34, JP 8	F 44
Gęstość kg/m <sup>3</sup>	775 - 840		788-845
Wartość opałowa MJ/kg	>42.8		42.5
Zawartość aromatów % masowych	<25,0		
Zawartość olefin % masowych	<5.0		
Temperatura krystalizacji °C	-47		-46

Wprawdzie spalinowe silniki turbinowe są z „natury” swego działania silnikami wielopaliwowymi to jednak jako napędy samolotów i śmigłowców o zróżnicowanych działaniach muszą być do nich dostosowywane tak ze względu na bezpieczeństwo latania jak i koszty przeprowadzania profilaktycznych przeglądów, sprawdzania działania i wymian elementów instalacji i oprzyrządowania układów paliwowych i automatycznego sterowania silników a w silnikach systemów hydraulicznych (jak w maszynach roboczych).

### **Paliwa alternatywne**

Pierwszy silnik tłokowy Otto o ZI pracował na paliwie gazowym, a silnik Diesel'a o ZS na oleju z orzeszków arachidowych. O dalszym rozwoju silników i szerokim ich wykorzystaniu w różnych obszarach gospodarki i dziedzinach działań społeczeństw zadecydowała dostępność i taniość paliw uzyskiwanych z ropy naftowej.

Powyższe powody jak i zagrożenie globalnego ocieplenia wymogło poszukiwanie paliw o innym pochodzeniu niż kopalne: węgiel, ropa naftowa czy złoża gazu ziemnego. Spore nadzieje pokłada się w paliwach syntetycznych, biopaliwach oraz wodorze – dających szansę ich wykorzystania w silnikach spalinowych – także lotniczych. Szczególne miejsce zajmują biopaliwa zwane niekiedy paliwami odtwarzalnymi. Ta druga nazwa wynika z faktu, że wprowadzany do atmosfery z ich spalania dwutlenek węgla CO<sub>2</sub> (zwany przez ekologów gazem „cieplarnianym”) zostanie z niej wchłonięty przez rosnące rośliny w następnym roku i cały proces jest cyklem powtarzalnym. Globalnie obecnie obserwuje się średnio 3 % przyrost udziału biopaliw w rynku paliwowym, przy czym w niektórych krajach jak Brazylia, Chiny czy Australia nawet 5%. Większość firm produkujących samochody uważa, że biopaliwa spełniają warunki do strategicznego zmniejszenia zależności paliwowej gospodarki światowej od paliw pochodzących z ropy naftowej i do redukcji wzrastającej koncentracji dwutlenku węgla, głównej przyczyny narastających zmian klimatycznych, bez. względu na to, gdzie jest produkowany.

Każdy miesiąc ostatnich lat przynosi rewelacyjne informacje o zastosowaniu biopaliw w lotnictwie, które stają się realną alternatywą dla lotnictwa, z uwagi na swoje korzystne własności, kształtowane przez nowe technologie jak i różne źródła paliw kolejno tzw. biopaliw I, II i III generacji. Przez I generację rozumie się biopaliwa produkowane konwencjonalnymi metodami z takich roślin jak np. rzepak, kukurydza czyli roślin używanych w gospodarce żywnościowej. II generacja – to rośliny nie służące do produkcji żywności jak np. palma babbasu, jatropha czy nasza lnianka produkowane bardziej wysublimowanymi technologiami. III generacja biopaliw - to paliwa z mikroalg, których wydajność przy użyciu zaawansowanych technologii upraw i produkcji wzrośnie 150 razy i więcej w porównaniu z wydajnością z rzepaku wynosząca ok. 1 tony paliwa rzepakowego z hektara!

W grupie paliw cięższych jak oleje napędowe i nafta lotnicza można wykorzystywać jako biopaliw przetworzone chemicznie w procesie transestryfikacji - oleje z roślin oleistych jak np. rzepak, soja, słoneczniki, palmy (tzw estry). Natomiast w przypadku paliw lekkich – bioalkohole obecnie głównie etanol i jego pochodne z roślin takich jak zboża, trzcina i buraki cukrowe w procesie fermentacji ogólnie mówiąc. W Polsce przed II wojną światową były wykorzystywane w lotnictwie paliwa typu BAB i BABC opracowane w Instytucie Lotnictwa (zawierające jako składniki: benzynę, alkohol etylowy oraz benzol). Po II wojnie światowej w Polsce (do początku lat 50-ych) jako paliwo do silników o ZI w transporcie drogowym jedynym dostępnym paliwem była mieszanka BAB.

Podstawowe właściwości i cechy różnych paliw już stosowanych w lotnictwie lub przewidywanych do wykorzystania samodzielnego albo jako znaczącego ilościowo składnika paliw ropopochodnych zestawiono poniżej (tabl. nr 5). Przytoczone dane liczbowe parametrów są uśrednione i zaokrąglone – ale w stopniu umożliwiającym porównywanie różnych paliw.

**Tabela 5. Podstawowe właściwości i cechy różnych paliw**

Parametr	Avgas 100LL	Etanol	Benzyna samochodowa	JETA1	Ester rzepakowy	Wodór
Gęstość kg/m <sup>3</sup>	690-790	789	720-755	800	880	71 (ciecz < 20,39 K)
Wartość opałowa MJ/kg	44,2	27,2	44	42	39,6	120
Wartość opałowa MJ/l	32	21,4	31,7	33,6	34,8	10,8
Liczba oktanowa MON	100	112	95-98	8	25	130
Liczba cetanowa	5	-	-	50	55	-
Temp. Krystalizacji °C	-46	-114	Ok....-40	-44	-10 (-25)	-253
Temp. zapłonu °C	<0	12	-40	38	168	-272
kg CO <sub>2</sub> /kg paliwa	3,3	1,91	3,3	3,4	2,85	-

Zwraca uwagę znacznie mniejsza ilość wytwarzanego dwutlenku węgla powstającego ze spalania biopaliw w porównaniu z ilością ze spalania paliw ropopochodnych. Przytoczone tu parametry wodoru, obecnie go dyskwalifikują jako paliwo lotnicze z racji blisko 10 krotnie mniejszej gęstości niż inne paliwa. Wymagałoby to znacznego zwiększenia pojemności zbiorników paliwa, a więc poważnej zmiany struktury samolotu (praktycznie nad istniejącym kadłubem pasażerskim drugi kadłub paliwowy z całym systemem chłodzenia etc!) , jak wykazują takie analizy przeprowadzone np. dla samolotu Airbus.

Na świecie obserwuje się coraz większe zainteresowania biopaliwami. Niezbędne analizy i badania eksperymentalne (łącznie z badaniami wpływu na zawartość składników toksycznych w spalinach) zostały już wykonane. Zaczęły się lub są planowane kolejne loty demonstracyjne przy zasilaniu silników różnymi biopaliwami. W tabeli 6 przytoczono podstawowe parametry i wskaźniki paliw pochodzenia biologicznego (alkohole i estry) oraz dla porównania benzyny i nafty lotniczej.

**Tabela 6. Parametry i wskaźniki paliw pochodzenia biologicznego, benzyny i nafty lotniczej**

Paliwo	Wartość opałowa MJ/dm <sup>3</sup>	Wartość Opałowa MJ/kg	Gęstość kg/dm <sup>3</sup>	MON	kg CO <sub>2</sub> /kg paliwa	MJ/kg CO <sub>2</sub>
AvGas	32,0	44,0	0.69 - 0.79	100	3,30	13,4
Butanol	29.2	33,0	0,810	78	2,37	13,8
Etanol	19.6	27,0	0.789	112	1,91	14,2
E85, AGE 85	25.2	34,6	0,75	106	2,6	10,6
Metanol	16,0	20,0	0,791	104	1,37	14,2
JetA1	33,6	42,0	0,800	8	3,40	12,3
Ester	34,8	39,6	0,880	25	2,90	13,8

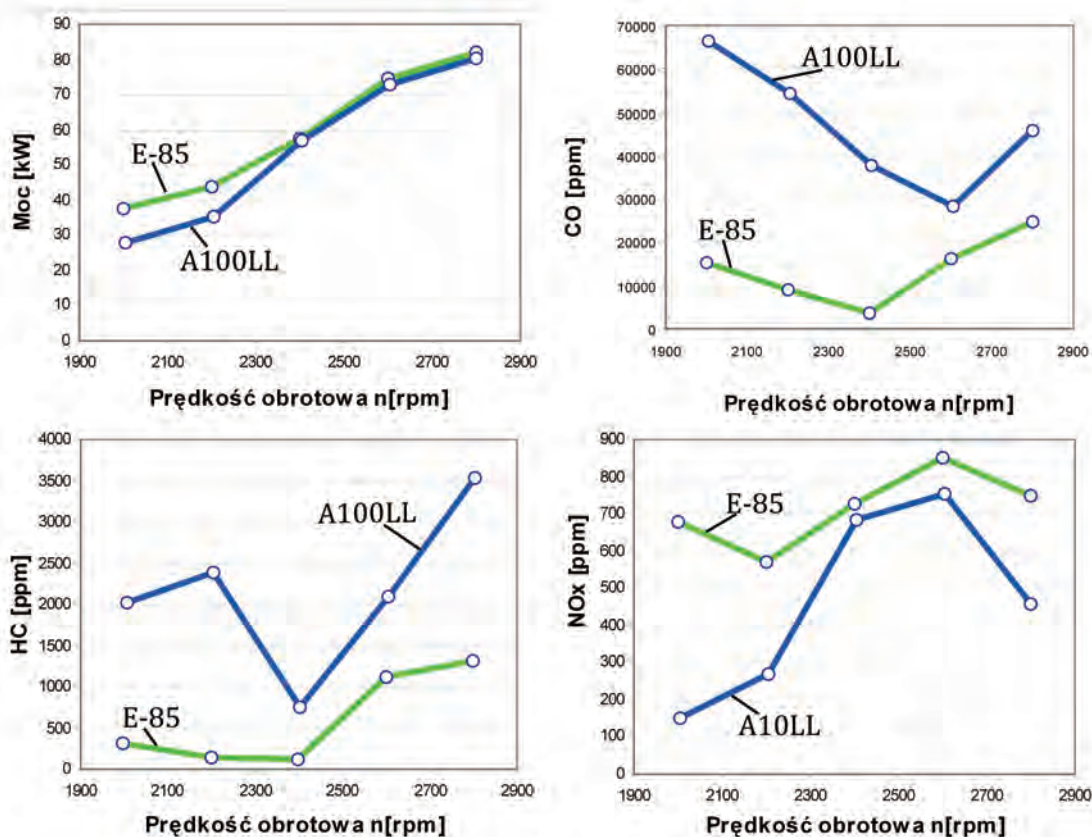
We wszystkich przypadkach spalanie 1 kg paliw pochodzenia biologicznego „produkuje” mniej dwutlenku węgla niż paliwa ropopochodnego, a pod względem energetycznym przewyższają one ilością energii przypadającą na jednostkę masy powstałego CO<sub>2</sub>. Paliwa pochodzenia biologicznego zawierają bowiem więcej wodoru w proporcji do zawartości węgla w paliwie niż to ma miejsce w paliwach ropopochodnych. Należy jednak pamiętać, że są to paliwa odtwarzalne i po roku wytworzony CO<sub>2</sub> jest wchłaniany przez rośliny, a wytworzony przez paliwa kopalne dodawany do atmosfery. Lotnictwo w minimalnym stopniu jest obecnie odpowiedzialne za emisję CO<sub>2</sub>, ale mimo tego już obecnie rozważa się handel emisjami obejmujący lotnictwo.

Zainteresowanie użyciem paliw alternatywnych w lotnictwie odżyło w USA na przełomie lat 90, choć wcześniej prace podjęto w latach 70-ych, następnie około 1980 roku, kiedy prof. dr Max Shauck - dyrektor Centrum Rozwoju Lotniczych Paliw Odnawialnych Uniwersytetu Baylor w Teksasie rozpoczął kompleksowe prace w obszarze General Aviation z różnymi biopaliwami, głównie etanolem a następnie estrami. Udowodniono, że etanol może być stosowany w silnikach o stopniu sprężania do 15, co obniża znacznie zużycie paliwa. Stwierdzono spadek emisji toksycznych składników w spalinach w porównaniu z klasyczną naftą lotniczą, dobre własności lotne samolotu i znaczne zmniejszenie zadymienia przy stosowaniu estrów.

Podobne prace z paliwem E85 wykonano ostatnio na tłokowym silniku lotniczym ‘Franklin’ w Instytucie Lotnictwa. Parametry pracy silnika zmierzone w trakcie prób na stanowisku badawczym oraz zawartość toksycznych składników spalin przedstawiono przy gaźnikowym zasilaniu benzyną Avgas 100LL (linia niebieska) oraz przy wtryskowym zasilaniu paliwem etanolem E-85 (linia zielona). Wyniki badań potwierdzają dobre własności ekologiczne paliwa E85 jako paliwa lotniczego. Aktualnie wstępne prace zakończono.

Obecnie prowadzi się kilkanaście różnych projektów dotyczących paliw alternatywnych II generacji tzw. BTL (biomass to liquid). Specjalny raport w sprawie paliw alternatywnych opracowała agencja NASA, przewidując jako paliwo III generacji paliwo z mikroalg. Technologia wydaje się być bardzo obiecująca z uwagi na wysoką wydajność mikroalg z hektara 150-300

razy wyższa niż paliwa estrowego z rzepaku oraz możliwość kształtowania własności biopaliwa przez obróbkę termochemiczną. Według NASA, zagospodarowany mikroalgami obszar wielkości stanu Wisconsin (równy Belgii w Europie), wystarczyłby na pokrycie zapotrzebowania całego światowego lotnictwa na paliwo lotnicze typu JetA1.



**Rys. 1. Parametry pracy silnika zmierzone w trakcie prób na stanowisku badawczym oraz zawartość toksycznych składników spalin przy gaźnikowym zasilaniu benzyną Avgas 100LL przy wtryskowym zasilaniu paliwem etanolem E-85**

W agencji DARPA opracowano usprawniony proces otrzymywania paliwa z lnianki i jatrophy o poprawionych własnościach termooksydacyjnych w porównaniu z paliwem JetA1 (tab. nr 7) Wstępne prace nad paliwem z lnianki prowadzone były także w Instytucie Lotnictwa w latach 1992-94 przy współpracy z SGGW Warszawa i Zakładami Azotowymi Kędzierzyn, ale nie kontynuowano ich dalej z uwagi na brak zrozumienia władz dla finansowania prac nad biopaliwami w lotnictwie.

**Tabela 7. Porównanie biopaliwa II generacji z lotniczym paliwem JetA1**

PORÓWNANIE BIOPALIWA II GENERACJI Z LOTNICZYM PALIWEM JETA1 WEDŁUG UOP			
Własność	JetA1	Jatropha	Lnianka
Wartość opałowa MJ/kg	42,8	44,3	44,1
Temp. zapłonu °C	38 min.	46	42
Temp. krystalizacji °C	-47	-57	-63,5
Koniec destylacji °C	max. 340	248	242
Gęstość kg/m <sup>3</sup>	775-840	749	753



Nie ustają także prace nad paliwami syntetycznymi uzyskiwanymi z węgla lub gazu naturalnego udoskonalonymi metodami Fisher-Tropscha. Celowała w ich produkcji Republika Południowej Afryki. Obecnie zaawansowane prace prowadzą międzynarodowe konsorcja składające się z producentów paliw, samolotów i silników lotniczych.

Podsumowując, biopaliwa lotnicze są obecnie na etapie końcowych prac certyfikacyjnych, prowadzonych zgodnie z aktualnymi przepisami lotniczymi dotyczącymi tak certyfikacji silnika, jak i struktury samolotu. Oczekuje się, że generalna certyfikacja biopaliw nastąpi około 2013... 2020 roku. Uważa się, że będą to paliwa o lepiej kształtowanych właściwościach, przyjazne bardziej dla silnika i ludzi wraz ze środowiskiem naturalnym. Billy M. Glower - dyrektor ds. strategii środowiskowych firmy Boeing, na spotkaniu pt. „Kierunek Czyste Niebo” w dniu 6 maja 2010 roku w Warszawie powiedział, że dla lotnictwa nie ma innej drogi niż udoskonalone biopaliwa, z uwagi na ich wyjątkowe własności, jak niższy punkt krystalizacji, wyższą stabilność termiczną i wyższą wartość opałową. Stwarza to wyjątkową sytuację dla Polski tak z uwagi na posiadane zasoby węgla, gazu łupkowego jak i duży potencjał produkcji biomasy.

### Oleje silnikowe

W lotnictwie współcześnie są stosowane powszechnie zarówno mineralne oleje smarne, jak i oleje syntetyczne i półsyntetyczne, smary oraz emulsje olejowe. W początkach rozwoju lotnictwa stosowano bardzo zróżnicowane oleje różnego pochodzenia zarówno mineralnego jak i organicznego jak np. rycynę stosowaną do dziś w silnikach modelarskich.

Oleje mineralne otrzymywane są w procesie łączenia tzw. olejów bazowych, pochodzących z bezpośredniej przeróbki ropy naftowej lub surowców bitumicznych.

Oleje syntetyczne otrzymywane są na drodze głębokiej przeróbki przetwórczej surowców mineralnych lub roślinnych olejów, tłuszczów zwierzęcych etc. Po przeróbce mają podobny skład chemiczny do olejów mineralnych, ale znacznie ulepszone własności i z reguły wyższą cenę. Rozróżnia się oleje także ze względu na przeznaczenie jako oleje smarne dla silników tłokowych i oleje smarne do silników turbinowych. Muszą one spełniać jednak szereg podobnych zadań:

- zmniejszać tarcie między współpracującymi ciernie częściami
- odprowadzić ciepło tarcia oraz dopływające z zewnątrz do części współpracujących
- odprowadzać produkty zużycia części oraz produkty utleniania oleju
- chronić części i zespoły silnikowe przed korozją

**Tabela 8. Klasy lepkościowe olejów silnikowych**

Przedział lepkości w temp. 40 °C, mm <sup>2</sup> /s, wg ISO 3448	Klasy lepkościowe SAE J300 olejów silnikowych	Zalecany zakres stosowania przy temperaturach otoczenia °C
19,8 ... 24,2	0W,5W	-35 do -5, -30 do -5
28,8 ... 35,2	10W	-25 do +5
41,4 ... 50,6	20W	-20 do 10
61,2 ... 74,8	20	-15 do 15
90 ... 110	30	0 do 20
135 ... 165	40	10 do 35
198 ... 242	50	15 do 50
288 ... 352	60	pow. 20

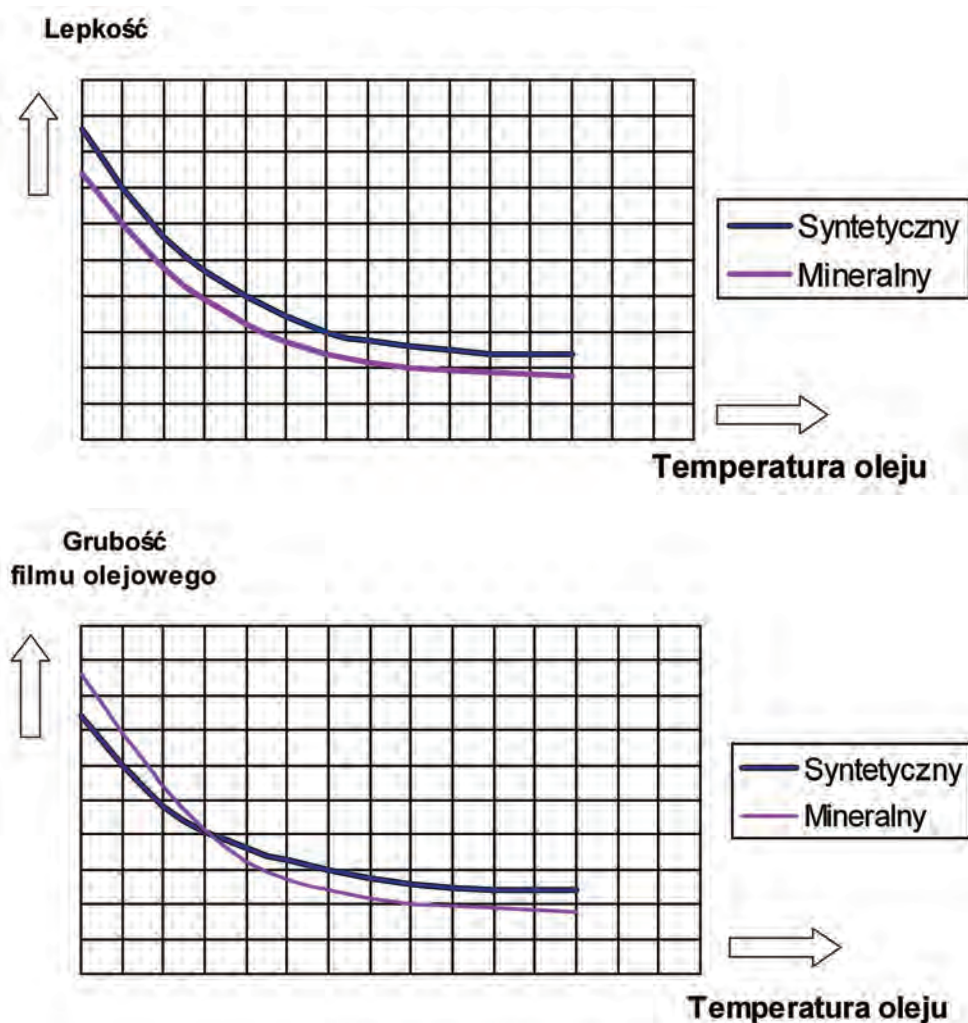
Do wszystkich olejów dodaje się różne dodatki uszlachetniające. W obu rodzajach olejów spełniają one swoje specjalne zadania m.in. są inhibitorami utleniania, depresatorami, poprawiają własności myjące, przeciw zużyciowe, pienienie oleju i inne funkcje wymagane warunkami

eksploatacji i pracy silnika. Bardzo ważne są dodatki zapobiegające utlenianiu oleju, z założeniem, że produkt ma pracować najdłużej jak to możliwe. Środki te opracowywane są we współpracy z wiodącymi producentami samolotów i silników i testowane są w najbardziej surowych warunkach. Spełniają wymagania szeregu norm i przepisów międzynarodowych. Podstawową cechą olejów silnikowych określa klasyfikacja lepkościowa. Litera W (ang. Winter – zima) – historycznie oznacza oleje przeznaczone do stosowania zimą. W praktyce stosuje się oznaczenia np. 5W/30, co oznacza stosowanie oleju w odpowiednio szerszych zakresach temperatur, gdzie np. 5W/30 od -30 do +20 C (tabl. nr 8).

Podstawowe różnice pomiędzy olejami mineralnymi i syntetycznymi podano w tabeli nr 9. Zmiany te zobrazowano poniżej na rysunku nr 5.

**Tabela 9. Podstawowe różnice pomiędzy olejami mineralnymi i syntetycznymi**

Parametr	Standard 1939	Mineralny	Syntetyczny
Lepkość kinematyczna mm <sup>2</sup> /s przy 100 °C	19-20	12-16,5	4,9-5,4
Temperatura mięknięcia o C	-18	-23	-60
Temperatura zapłonu o C	260	260	256
Gęstość kg/m <sup>3</sup>	882-892	845-905	960-1000
Czas wymiany oleju h	75-100	wg stanu	zwiększony



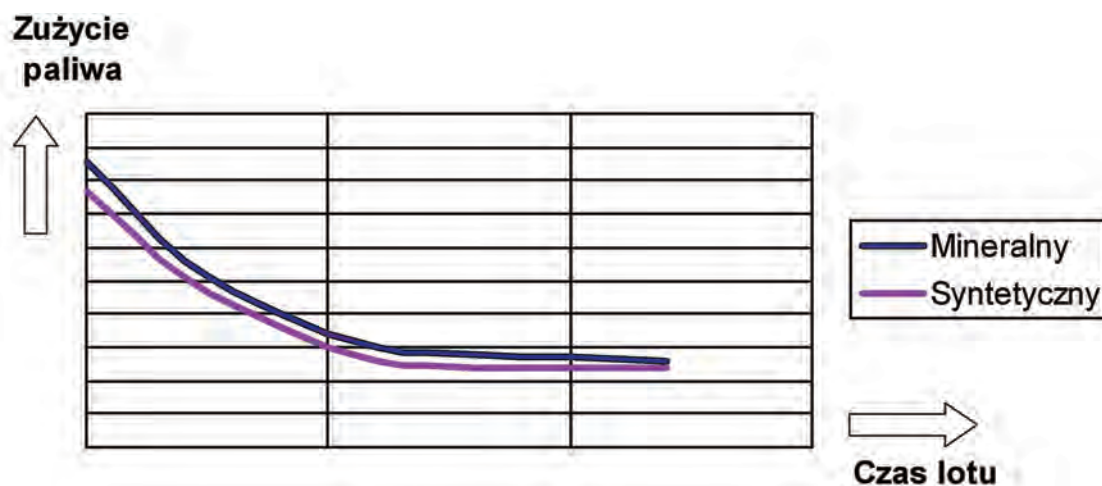
**Rys. 5. Porównanie własności oleju mineralnego z olejem syntetycznym w funkcji temperatury**

Z przedstawionych uśrednionych przebiegów wynika utrzymywanie wyższych wartości lepkości w podwyższonych temperaturach olejów syntetycznych niż mineralnych oraz możliwość komponowania w grupie olejów syntetycznych szerokiego zakresu lepkości. Ma to szczególne znaczenie dla silników turbinowych.

Bardziej lepkie oleje do silników śmigłowych i śmigłowcowych (z racji konieczności smarowania wysoko obciążonych kół zębatach przekładni reduktorów) oraz mniej lepkie do silników odrzutowych (z racji odprowadzania ciepła z wysokoobrotowych łożysk).

W zależności od bazy charakteryzują się one różnymi właściwościami eksploatacyjnymi. Istotną cechą olejów syntetycznych stanowi duża stabilność właściwości fizycznych w znacznie dłuższym czasie użytkowania (sięgającego nawet kilka tysięcy godzin pracy silnika) niż olejów mineralnych (zwykle dopuszczonych do pracy przez kilkaset godzin). Powyższe odnosi się do lotnictwa pasażerskiego i transportowego dalekiego zasięgu. W lotnictwie bojowym z racji wpływu dużych przyspieszeń dodatnich lub ujemnych tzw. akceleracji i deceleracji oraz rozruchów silnika, czasy bezpiecznego użytkowania olejów mogą być krótsze nawet o rząd wielkości.

Firmy silnikowe nie stosują oleju syntetycznego w czasie pierwszego uruchomienia silnika w trakcie podstawowego fabrycznego docierania silnika. W trakcie eksploatacji przewaga oleju syntetycznego nad olejem mineralnym maleje rys.6.



Rys. 6. Właściwości olejów w czasie eksploatacji

Oleje syntetyczne mają jednak przewagę z uwagi na wydłużony czas wymiany. Duże nadzieje „skokowego” wzrostu jakości smarnej olejów syntetycznych (redukujących tarcie części współpracujących omal do zera) wiąże się z wprowadzeniem do nich ciekłych kryształów podobnych do stosowanych w zupełnie innych dziedzinach jak np., w monitorach komputerowych.

## LITERATURA

- [1] Aviation Fuels Technical Review, Chevron Corporation, 2006
- [2] *Biofuels in the European Union - a Vision for 2030 and beyond*, Report of Biofuels research Advisory Council, 2006
- [3] **Campbell C.J., Laherrere** “The end of Cheap Oil” *Scientific American* March 1998
- [4] **Daggen D. Hendrikks R.C. Walther R. Corporan E.** *Alternative Fuels use in Commercial Aircraft*, NASA/TM-2008-214833, ISABE-2007-1196
- [5] **Shauck M.E. Zanin M.G.:** *The present and Future Potential of Biomass Fuels in Aviation*, Baylor University, Waco, USA
- [6] Oleje i smary lotnicze – Podstawy techniki smarowniczej - Total Fina Elf
- [7] Informacje internetowe nt. słów kluczowych związanych z tematem paliw i smarów
- [8] **Glower B., M.:** “Aviation and Environment” May 2010, Materiały ze spotkania z firmą Boeing pt Kierunek Czyste Niebo PLL Lot, Warszawa, 06.05.2010.

