

Edyta Janeba – Bartoszewicz

# Analiza właściwości paliw stosowanych współcześnie w silnikach statków powietrznych

JEL: Q01 DOI: 10.24136/atest.2019.045

Data zgłoszenia: 15.12.2018 Data akceptacji: 08.02.2019

W artykule przedstawiono aktualny stan paliw ciekłych wykorzystywanych w lotnictwie. Omówiono właściwości fizykochemiczne tych cieczy na tle warunków wynikających z rodzaju lotnictwa i realizowanych misji. Paliwa lotnicze to mieszaniny węglowodorów otrzymywane najczęściej z zachowawczej lub przetwórczej przeróbki ropy naftowej, uzupełniane dodatkami poprawiającymi ich właściwości eksploatacyjne. Aktualnie paliwa lotnicze występują w dwóch podstawowych typach: paliwa do silników turboodrzutowych i paliwa do silników tłokowych. Podstawowym paliwem dla komercyjnego transportu lotniczego i lotnictwa wojskowego jest paliwo do silników turbośmigłowych. Rzadziej jako paliwa lotnicze stosowane są związki syntetyczne, oraz różnego rodzaju paliwa alternatywne. Specyficzną rolę odgrywa hydrazyna stosowana w systemie awaryjnego zasilania statków powietrznych używana np. w wielozadaniowych samolotach myśliwskich F-16.

**Słowa kluczowe:** ciekłe paliwa lotnicze, paliwa alternatywne w lotnictwie, hydrazyna

## Wstęp

Większość paliw lotniczych pochodzi z ropy naftowej, która początkowo nazywana była olejem napędowym. Na początku ery naftowej z ropy naftowej uzyskiwano tylko naftę, pozostała część była bezużyteczna. Z biegiem lat z ropy naftowej zaczęto pozyskiwać różne frakcje, które postanowiono wykorzystać w różnych dziedzinach światowej gospodarki. Zaletą ropy naftowej jest to, iż mimo różnego składu chemicznego zarówno produkty destylacji, jak i pozostałości podestylacyjne są w pełni wykorzystywane w gospodarce.

W zależności od temperatury destylacji ropy naftowej uzyskujemy różne paliwo. Benzyna lotnicza destyluje w temperaturze 40-180<sup>o</sup> C, paliwa szeroko frakcyjne w temperaturze 60-290<sup>o</sup> C, nafta lotnicza przy temperaturze 130-280<sup>o</sup> C, a olej napędowy to 190-315<sup>o</sup> C. Zakresy temperatur destylacji mogą ulegać przesunięciu w górę, w zależności od gatunku i miejsca pozyskiwania ropy naftowej. Jakość paliwa lotniczego w dużej mierze zależy od pochodzenia ropy naftowej. Uważa się, iż lepsze paliwo pozyskuje się z ropy naftowej pochodzącej z krajów arabskich w porównaniu z ropą naftową pochodzącą z okolic Morza Północnego. Ponieważ zapotrzebowanie lotnictwa na produkty pochodzących z rafinacji ropy naftowej wzrosła o około 5 %, konieczne było zoptymalizowanie procesu wytwarzania nafty lotniczej. Powstały kolumny rafinerijne specjalnie przystosowane do produkcji paliwa lotniczego.

Proces kształtowania własności paliw jest doskonały, największy rozwój dotyczy paliw do lotniczych silników turbinowych: odrzutowych, śmigłowych i śmigłowcowych. Zużycie paliw lotniczych stanowi 4% rynku paliw płynnych, w tym 98% paliw lotniczych to nafta lotnicza a 2% benzyna [1,2].

## 1. Klasyfikacja lotniczych paliw silnikowych

Podstawowe rodzaje paliwa (benzyna lotnicza, benzyna ciężka, paliwa szerokokfrakcyjne, nafta lotnicza czy olej napędowy) są do siebie podobne. Różnica pojawia się w ciężarze właściwym oraz wartości opałowej. Trudno wskazać, które paliwo jest lepsze. Te które mają większą wartość opałową są cięższe, więc mniejszą jego ilość zabieramy do statku powietrznego. Zatem, o stosowaniu danego paliwa decydują takie czynniki jak: cena, łatwość w produkcji, dostępność, bezpieczeństwo, temperatura zapłonu, czy temperatura krystalizacji.

Konieczność rozszerzenia cech użytkowych paliw wynika ze względu na szybki rozwój konstrukcji silników oraz działań lotnictwa dotyczących głównie wysokości i prędkości lotu, a także działania w różnych strefach klimatycznych. Rodzaj stosowanego paliwa zależy od rodzaju silnika oraz statku powietrznego. Proces kształtowania własności paliw jest doskonały, największy rozwój dotyczy paliw do lotniczych silników turbinowych: odrzutowych, śmigłowych i śmigłowcowych. W tabeli 1 zestawiono rodzaj stosowanego paliwa oraz jego zastosowanie w odpowiednim statku powietrznym.

Tab. 1. Klasyfikacja lotniczych paliw silnikowych [2]

Rodzaj paliwa	Zastosowanie	Rodzaj statku powietrznego
Benzyna lotnicza	Tłokowe silniki spalinowe ZI	Samoloty, śmigłowce
Turbinowe	Ciężka benzyna	Samoloty
	Paliwa szerokokfrakcyjne	Samoloty, śmigłowce
	Nafta lotnicza	Samoloty, śmigłowce i rakiety
	Oleje napędowe	Rakiety, samoloty
AKPM	regionalny krajowa	samoloty

Wymagania paliw zmieniają się wraz z upływem lat i konstrukcją silników od silników tłokowych do nadal usprawnianych silników turbinowych, które są używane w lotnictwie o znacznie zróżnicowanych warunkach pracy, szczególnie w lotnictwie bojowym jak i pociskach sterowanych. Ważne elementy tych wymagań wymusza interakcja materiałowa pomiędzy paliwem, a elementami układu paliwowego silnika oraz konstrukcją samolotu.

O właściwościach eksploatacyjnych paliwa decyduje ich skład chemiczny. Najważniejszymi związkami chemicznymi lotniczych paliw silnikowych są:

- węglowodory naftenowe (nasycone węglowodory cykliczne o pierścieniowym składzie atomów węgla i wodoru),
- węglowodory parafinowe (izoparafiny) 40÷70%,
- węglowodory aromatyczne (jednopierścieniowe) 20÷27 %
- węglowodory olefinowe (składnik niepożądany pogarszający stabilność termiczną i chemiczną paliwa, będący źródłem osadów i żywic) 28÷30 %,.

Szczegółową zawartość poszczególnych składników chemicznych w lotniczych paliwach silnikowych przedstawia tabela 2. Wraz ze wzrostem masy molowej paliwa wzrasta zawartość węglowodo-

rów aromatycznych, węglowodorów naftenowych oraz węglowodorów parafinowych. Im większa masa molowa paliwa tym większa jego gęstość.

**Tab. 2.** Skład chemiczny lotniczych paliw silnikowych [2]

Rodzaj paliwa	Masa molarowa [g/mol]	Skład grupowy [%]			
		aromaty	parafiny	nafteny	olefiny
Benzyna lotnicza	92 ±112	3±60	10±80	3±75	0±3
Ciężka benzyna	110±115	10±20	80±90		0±4
Paliwo szerokofrakcyjne	118±125	10±24	80±90		0±5
Nafta lotnicza	126±150	4±24	10±75	15±65	0±5
Olej napędowy	155±185	15±22	15±22	75±85	0±5

Analiza składu elementarnego paliw pokazuje dominację pierwiastków węgla występującego w ilości 83÷87 % oraz wodoru w ilości 12÷14 % potwierdzając zawartość węglowodorów aromatycznych, naftenowych oraz olefinowych składających się z tych pierwiastków. Odnotowano obecność pierwiastków takich jak azot, tlen oraz siarka w ilości nie przekraczającej 8%.

O jakości paliwa decyduje zawarta w nim siarka, która jest szkodliwa dla silników lotniczych. ze względu na właściwości toksyczne i korodujące (korozja komory spalania, łopatek turbiny czy układów kierowniczych). Związki siarki dzielą się na dwie grupy: aktywne takie jak siarka elementarna, siarkowodor czy merkaptany oraz nieaktywne np. siarczki i tiofeny. Zawartość siarki musi być ograniczona. Im wyższa temperatura destylacji frakcji paliwa, tym większa zawartość w niej siarki. Określono dopuszczalną zawartość siarki w paliwach lotniczych oraz jej chemiczne oddziaływanie, które zestawiono w tabeli 3.

**Tab. 3.** Zawartość siarki w paliwach lotniczych [2]

Właściwości	Benzyna lotnicza	Paliwa do silników turbinowych
Maksymalna zawartość siarki ogólnej [%]	0,03 ±0,05	0,1±0,4
Zawartość siarkowodoru [%]	-	Nie zawiera
Ilość merkaptanów [%]	-	0,001±0,005
Działanie korodujące na miedź	wytrzymuje	wytrzymuje
Działanie korodujące na srebro	wytrzymuje	wytrzymuje

Pod względem wagowym najłżejsze są benzyny lotnicze, następnie benzyny ciężkie, paliwa szerokofrakcyjne, nafta lotnicza, olej napędowy. Nafta lotnicza jest około 10 % w porównaniu z benzyną, gdyż posiada mniejszą zawartość frakcji lotnych [2,3,4].

Wartość energetyczną danego paliwa określa ciepło spalania i wartość opałowa. Obie wartości są ściśle zdefiniowane, możliwe do obliczenia na podstawie składu chemicznego paliwa lub wyznaczenia doświadczalnego. Wartość opałowa paliwa jest to ilość ciepła, która wydzieli się podczas zupełnego i całkowitego spalania jednostki objętości danego paliwa, przy czym woda pozostaje w postaci pary. Natomiast ciepło spalania to ilość ciepła, która wydzieli się podczas zupełnego i całkowitego spalania jednostki objętości danego paliwa, przy czym woda pozostaje w postaci cieczy. Wartość opałowa jest zawsze mniejsza od ciepła spalania. W tabeli 4 przedstawiono wartości opałowe poszczególnych paliw na tle ich gęstości. Wraz ze wzrostem masy molowej paliwa oraz gęstości jego wartość opałowa wzrasta.

**Tab. 4.** Porównanie gęstości i wartości opałowych paliw lotniczych

Rodzaj paliwa	Wartość opałowa		Gęstość [kg/dm <sup>3</sup> ]
	[MJ/kg]	[MJ/m <sup>3</sup> ]	
Benzyna lotnicza	43,12 ±44	32±33,2	0,690±0,770
Ciężka benzyna	>43	30,6±32,2	0,720±0,730
Paliwo szerokofrakcyjne	>42,9	32,5±33,6	0,750±0,785
Nafta lotnicza	42,5±43,12	34±35,9	0,770±0,840
Olej napędowy	42,5±43,1	36±36,5	0,840±0,860

Na porównanie właściwości fizycznych paliw pozwalają takie parametry jak: wartość opałowa, temperatura zapłonu, gęstość, lepkość, temperatura krystalizacji, stabilność termiczna i chemiczna jak i teoretyczne zapotrzebowanie powietrza do spalania. W tabelach 4÷5 zebrano wymienione powyżej parametry dla wybranych paliw lotniczych.

**Tab. 5.** Porównanie lepkości, temperatur krystalizacji oraz zapłonu dla wybranych paliw lotniczych

Rodzaj paliwa	Lepkość w 311 K [cSt]	Temperatura krystalizacji [°C]	Temperatura zapłonu [°C]
Benzyna lotnicza	1±4	-61±-70	-42±-32
Paliwo szerokofrakcyjne	2±4	-51±-71	-22±-23
Nafta lotnicza		-45±-67	28±47

Lepkość paliwa zależy od składu chemicznego oraz budowy strukturalnej związków wchodzących w skład paliwa, pośrednio od temperatury wrzenia i krzepnięcia. Im wyższa jest temperatura poszczególnych punktów składu frakcyjnego paliwa, tym większa jest jego lepkość. Lepkość paliwa maleje ze wzrostem temperatury. Parametr ten określa opory przetłaczania i pompowania, ma wpływ na jakość rozpylenia i odparowywania paliwa. Temperatura krystalizacji pozwala ocenić zachowanie się paliwa w niskich temperaturach, określając w ten sposób dolną granicę eksploatacji cieczy [5,6,7].

Ocena fizykochemiczna paliw pozwala na określenie ich stabilności termicznej i chemicznej. Stabilność termiczna określa skłonność paliwa do wydzielania smół i innych stałych osadów pod wpływem temperatury. Wysoka stabilność termiczna musi charakteryzować paliwa do silników naddźwiękowych ze względu na skutki nagrzewania aerodynamicznego. Przy magazynowaniu i przechowywaniu paliw decydującą rolę odgrywa stabilność chemiczna danego paliwa, czyli jego odporność na starzenie pod wpływem podwyższonej temperatury, obecności tlenu czy metali katalizujących.

## 2. Paliwa lotnicze do silników turboodrzutowych

Silniki turboodrzutowe są coraz bardziej ekonomiczne, zużywają mniej paliwa dając więcej energii. Paliwo do silników turbinowych powinno mieć następujące cechy: niski koszt wytwarzania, łatwość dostępu, małe ryzyko pożaru, niskie ciśnienie parowania, wysoką stabilność termiczną, dużą wartość opałową, duże ciepło właściwe. Paliwo takie powinno być także łatwe do przetaczania (pompowania), nie powinno blokować filtrów woskiem, lodem i innymi chemicznymi zanieczyszczeniami a przewodów parami paliwa. Ważne aby posiadało własności smarne dla pomp, wytrącało mało sadzy i dobrze rozpylało się we wtryskiwaczach.

Turbiny gazowe mogą pracować z szeroką gamą paliw. Pracują na benzynie, oleju napędowym, nafcie, gazie, wodorze i wielu innych paliwach. Problem stanowi kwestia bezpieczeństwa, dlatego do silników turboodrzutowych zaczęto wykorzystywać paliwa o wyższej temperaturze zapłonu będące mniej łatwopalne, a zatem bezpieczniejsze w transporcie i obsłudze. Drugą kwestią okazał się czynnik ekonomiczny, gdyż silniki turboodrzutowe zasilane benzyną okazały się drogie w eksploatacji. Poza tym odkrycie, iż paliwo może zamarznąć i spowodować obciążenie silnika wymusiło wprowadzenie odpowiednich norm dla paliw lotniczych. W latach 50-tych nastąpiło rozdzielenie norm dla paliw przeznaczonych dla samolotów komercyjnych i dla samolotów wojskowych [8].

Najczęściej stosowanymi paliwami dla lotnictwa komercyjnego są JET A i JET A-1, które są produkowane zgodnie ze znormalizowaną specyfikacją międzynarodową. Jedynym innym paliwem lotniczym stosowanym powszechnie w lotnictwie cywilnym napędzanym silnikiem turbinowym jest JET B, które wykorzystywane jest

do zwiększenia wydajności systemu napędowego w niskich temperaturach. Paliwo JET A-1 produkowane jest z komponentów uzyskiwanych w określonym reżimie technologicznym w procesach hydroodsarcania, hydrokrakingu i destylacji. Paliwo jest uszlachetniane dodatkami antyutleniającymi i antyelektrostatycznymi.

Podstawowym parametrem fizykochemicznym różniącym paliwa JET A i JET A-1 jest temperatura krystalizacji, która wynosi  $-400\text{ C}$  dla JET A i  $-470\text{ C}$  dla JET A-1. W przypadku JET A-1 obowiązkowe jest wprowadzenie dodatku antystatycznego. Zaletą stosowania paliwa JET A-1 jest możliwość jego używania w każdych warunkach pogodowych w przeciwieństwie do paliwa JET A. Paliwo JET B ma bardzo niską temperaturę zamarzania, która wynosi  $-600\text{ C}$  oraz niską temperaturę zapłonu. Jest mieszaniną składającą się z 30% ropy lotniczej i 70% benzyny. Z uwagi na dużą zawartość frakcji lotnych jest niebezpieczne w obsłudze.

W lotnictwie wojskowym stosuje się kwalifikacje paliw jako JP czyli „Jet Propellant”. Niektóre z paliw są identyczne z paliwami cywilnymi, a różniące się tylko dodatkami np. JP-8 i JET-A1. Zgodnie z klasyfikacją NATO dla paliw wojskowych stosuje się odpowiednie kody np. F-35 to paliwo JET A-1, F-34 to paliwo JP-8, F-40 to paliwo JP-4, a F-44 to paliwo JP-5.

### 3. Paliwa lotnicze do silników tłokowych

Jednym z najważniejszych parametrów benzyn silnikowych jest liczba oktanowa, wskazująca odporność benzyny na spalanie detonacyjne w silnikach z zapłonem iskrowym. Przyczyną detonacji w silniku jest zbyt gwałtowny proces spalania. Detonacje prowadzą do uszkodzenia silnika. Dodatkowym parametrem antydetonacyjnym benzyny lotniczej, w odróżnieniu od benzyny samochodowej jest liczba wyczynowa. Jest ona wskaźnikiem odporności benzyny lotniczej na zjawisko detonacji w silnikach z zapłonem iskrowym pracujących na bogatej mieszance, co pozwala na określenie mocy rozwijanej przez silniki lotnicze.

Poza wymienionymi parametrami, benzyny lotnicze muszą spełniać normy dotyczące parametrów fizykochemicznych charakteryzujących lotność, wartość energetyczną, właściwości niskotemperaturowe, odporność na starzenie w czasie magazynowania, brak zanieczyszczeń czy działania korodujące na metale. Lotność benzyn decyduje o procesie jej odparowania, tworzenia mieszanki paliwowo-powietrznej oraz procesie spalania i określana jest jako prężność par i skład frakcyjny. Ważnym parametrem jest temperatura zamarzania, która dla paliw lotniczych nie może być wyższa niż  $-580\text{ C}$ . Poniżej tej temperatury rozpoczyna się wytrącanie kryształków lodu z benzyny, co grozi zatkaniem przewodów paliwowych. Do paliw lotniczych dodaje się ściśle określoną ilość dodatków antyelektrostatycznych oraz kontroluje przewodność elektryczną paliwa. Ilość dodatków i wartość przewodności elektrycznej ściśle określają odpowiednie normy.

Istnieje kilka rodzajów tłokowych silników lotniczych, co wymaga stosowania kilku handlowych gatunków benzyny lotniczej od niskoolowiowej, przez ołowiową do benzyny bezołowiowej.

W Polsce ze względów logistycznych dostępne jest powszechnie tylko paliwo AVGAS 100 LL (tzw. niebieska) o kodzie NATO F-18. Jest to benzyna o stosunkowo małej zawartości ołowiu, przy jednoczesnej dobrej odporności na spalanie stukowe w normalnych i ekstremalnych warunkach pracy silnika.

### 4. Paliwa alternatywne

Zagrożenie globalnym ociepleniem, dostępność oraz obniżenie kosztów wymogło poszukiwanie paliw o innym pochodzeniu niż kopalne: węgiel, ropa naftowa, czy złoża gazu ziemnego. Spore nadzieje upatruje się w paliwach syntetycznych, biopaliwach oraz wodorze. Szczególnie miejsce zajmują paliwa odtwarzalne. Wpro-

wadzony do atmosfery  $\text{CO}_2$  powstający w procesie spalania paliw zostaje wchłonięty przez rośliny, a cały proces jest cyklem powtarzalnym. Biopaliwa spełniają warunki do strategicznego zmniejszenia zależności paliwowej gospodarki światowej od paliw pochodzących z ropy naftowej i do redukcji ilości ditlenku węgla będącego czynnikiem odpowiedzialnym za zmiany klimatyczne [9,10].

Biopaliwa podzielone zostały na generacje. Przez generację I rozumie się biopaliwa produkowane konwencjonalnymi metodami z roślin używanych w gospodarce żywnościowej np: rzepak, kukurydza. Biopaliwa generacji II otrzymywane są z roślin nie służących do produkcji żywności np. palma babbasu, jatropha. Paliwa z mikroalg stanowią generację III paliw. Przy użyciu zaawansowanych technologii upraw i produkcji wydajność biopaliwa z alg jest 150 krotnie wyższa w porównaniu z rzepakiem.

W grupie paliw cięższych jak oleje napędowe i nafta lotnicza stosowane są oleje z roślin olejowych przetworzone w procesie transestryfikacji. W przypadku paliw lekkich biopaliwo stanowi etanol i jego pochodne powstałe w procesie fermentacji zbóż, trzciny cukrowej i buraków cukrowych [11,12].

Stosowanie wodoru, jako paliwa alternatywnego, dyskwalifikuje go ze względu na małą gęstość w porównaniu z innymi paliwami. Wymagałoby to znacznego zwiększenia pojemności zbiornika paliwa, a więc również struktury samolotu [13].

Na świecie obserwuje się coraz większe zainteresowanie biopaliwami. Wykonywane są niezbędne analizy i badania eksperymentalne polegające również na analizie spalin pod względem zawartości składników toksycznych. Stwierdzono, iż 1kg paliwa pochodzenia biologicznego emituje w procesie spalania mniej  $\text{CO}_2$  niż ta sama ilość paliw ropopochodnych, a pod względem energetycznym przewyższają one ilością energii przypadającą na jednostkę masy powstałego ditlenku węgla. Paliwa pochodzenia biologicznego zawierają więcej wodoru w proporcji do zawartości węgla w paliwie niż paliwa ropopochodne. Poza tym biopaliwa to paliwa odtwarzalne, gdyż emitowany ze spalania biomasy ditlenek węgla jest w całości pochłaniany przez rośliny. W przypadku spalania paliw kopalnych powstający  $\text{CO}_2$  jest dostarczany do atmosfery. Lotnictwo w minimalnym stopniu odpowiedzialne jest za emisję ditlenku węgla, pomimo tego aspekt środowiskowy jest również analizowany przy stosowaniu nowego paliwa alternatywnego.

### 5. Hydrazyna jako paliwo do awaryjnego systemu napędowego

W okresie II wojny światowej mieszanina hydrazyny, metanolu i wody stosowana była jako paliwo w niemieckich samolotach Me-163B. Obecnie wykorzystywana jest jako czynnik roboczy systemu awaryjnego zasilania (EPU- Emergency Power System) amerykańskich wielozadaniowych samolotów myśliwskich F-16 będących na wyposażeniu sił zbrojnych 26 krajów świata. Zadaniem systemu EPU jest przywrócenie podstawowych funkcji samolotu umożliwiających mu kontynuację lotu oraz bezpieczne lądowanie w sytuacji awarii silnika, instalacji hydraulicznej czy systemu elektrycznego. W przypadku innych samolotów takie rozwiązanie nie istnieje. Mieszanina hydrazyny i wody pozwala w bardzo krótkim czasie (2-3 s) na uzyskanie obrotów turbiny na poziomie 75000 obr/min. Woda w tym przypadku zabezpiecza przed przegrzaniem. Takie rozwiązanie układu EPU pozwoliło znacząco obniżyć masę samolotu. Napelnięta hydrazyną butla pozwala pilotowi na 10-15 minut awaryjnego lotu [15,16,17].

Hydrazyna o wzorze  $\text{NH}_2\text{-NH}_2$  jest bezbarwną, dymiącą, oleistą cieczą o zapachu podobnym do amoniaku. W przypadku paliwa lotniczego stosowany jest jej 70% roztwór wodny. Ciecz ta jest bardzo dobrym utleniaczem i reaguje z  $\text{CO}_2$  oraz  $\text{O}_2$  zawartym w powietrzu atmosferycznym. Wybrane podstawowe wielkości fizykochemiczne hydrazyny przedstawiono w tabeli 6.

**Tab. 6.** Wybrane wielkości fizykochemiczne hydrazyny [15]

Nazwa parametru	Wartość
Masa cząsteczkowa [g/mol]	32,05
Temperatura wrzenia [°C]	32,05
Temperatura topnienia [°C]	113,5
Temperatura zapłonu [°C]	37,88
Temperatura samozapłonu [°C]	270
Rozpuszczalność w wodzie [g/l]	1000
Gęstość właściwa [g/ml]	1,0083/1,0036
Granica wybuchowości [%obj.]	4,7÷100
Próg zapachu [mg/m <sup>3</sup> ]	3÷5,3

Hydrazyna jest związkem silnie trującym, powodującym silne oparzenia skóry. Posiada duży zakres wybuchowości, dlatego stwarza zagrożenie przeciwpożarowe. Oddziaływanie hydrazyny na personel techniczny samolotów F-16 może wystąpić w różnych sytuacjach awaryjnych np. po uruchamianiu EPU podczas lotu, przy napełnianiu butli zawierającej hydrazynę czy niekontrolowanym wycieku hydrazyny w samolocie. W przypadku wykonywania jakichkolwiek czynności związanych z hydrazyną personel musi być wyposażony w odpowiednie kombinezony ochronne, pozwalające do minimum ograniczyć szkodliwe działanie tej substancji [17].

Nieprzestrzeganie zasad bezpieczeństwa podczas czynności wykonywanych z hydrazyną oraz niewłaściwa obsługa instalacji hydrazynowych w samolocie, jak i warsztacie paliwowym, może zagrażać zdrowiu oraz spowodować pożar i uszkodzenie sprzętu [18, 19].

### Podsumowanie

Światowe zapotrzebowanie na paliwo lotnicze wzrasta nieprzerwanie od drugiej wojny światowej. W ciągu ostatnich trzydziestu lat zużycie wzrosło ponad trzykrotnie. Wymagania stawiane paliwom ciekłym wynikają z rodzaju lotnictwa i ich misji. Zmieniają się one wraz z upływem lat, budową silników używanych w lotnictwie oraz obszarów wykorzystywania lotnictwa. Ważne elementy tych wymagań wymusza interakcja materiałowa pomiędzy paliwem, a elementami układu paliwowego silnika wraz z konstrukcją samolotu. Ocena fizykochemiczna paliw pozwala na określenie ich stabilności termicznej i chemicznej. Prowadzi się badania nad poszerzeniem listy paliw stosowanych w lotnictwie, między innymi o biopaliwa. Paliwa są uznawane jako materiały niebezpieczne, które ze względu na swoje właściwości chemiczne, fizyczne i biologiczne mogą, przy nieprawidłowym obchodzeniu się z nimi, doprowadzić do śmierci, zagrożenia zdrowia, uszkodzenia ciała ludzkiego, zniszczeń lub szkód materialnych. Znajomość właściwości fizycznych i chemicznych paliw pozwala na dobór najodpowiedniejszego, uwzględniającego rozwój konstrukcji silników, działanie lotnictwa oraz bezpieczeństwo stosowania. Różnorodne właściwości fizykochemiczne paliw determinują odmienne warunki zarówno ich transportu, jak i magazynowania.

### Bibliografia:

1. Pałowski Zb., Lotnicze paliwa i oleje, Prace Instytutu Lotnictwa w Warszawie, nr 129, s.117-127
2. Janeba-Bartoszewicz E., Idaszewska N., Zadencki R., Bieńczyk K., Analiza porównawcza właściwości fizykochemicznych paliw ciekłych stosowanych w lotnictwie, Konferencja Naukowo-Techniczna „Nasze stulecie. Nauka dla obronności”, Poznań, s. 253-262.
3. Satkowski W., Gospodarka materiałami niebezpiecznymi w bazach lotnictwa wojskowego w zmiennych warunkach działania, PhD Thesis, Poznań 2016
4. Górski K., Górski W.: Napędy lotnicze. Materiały pędne i smary, WKiŁ, Warszawa 1986
5. Campbell C.J., Laherrere.: The end of cheap oil. Scientific American, March 1998

6. Grzechowiak J.R.: Chemia ropy naftowej, Politechnika Wroclawska, Wroclaw 1987
7. Bartoszewicz J., Kiciński M., Nygard A.: Specyfika gospodarki paliwami w bazach lotnictwa wojskowego (BLW), W. Sulima ., Szramowiat Z., Sornek K., Rzepoka K. (red.): Energia i Paliwa, WSTN, Kraków 2016, s. 7-14
8. Zabicki D.: Magazynowanie materiałów niebezpiecznych, Inżynieria & Utrzymanie Ruchu Zakładów Przemysłowych nr 5/2013
9. Daggen D., Hendrikks R.C., Walther R., Corporan E.; Alternative fuels use in commercial aircraft, NASA/TM-2008-214833, ISABE-2007-1196
10. Tymiński J.: Wykorzystanie odnawialnych źródeł energii w Polsce do 2030 roku, IBMiER, Warszawa 1997
11. Bogdannienko J.: Odnawialne źródła energii, Biblioteka Problemów, PWN, Warszawa 1989
12. Gajewski W.-red.: Ekologiczne aspekty przetwarzania energii, KTIS PAN, Warszawa 1996
13. Steppa M.: Biogazowanie rolnicze, IBMiER, Warszawa 1992
14. Aggarwal R., Patel I., Sharma P.B., Green Propellant: A Study, International Journal of Latest trends in Eneeneering and Technology, 2015, vol.6, Issue 1 (September), p. 83-87
15. Janeba-Bartoszewicz E., Kiciński M., Potencjalne zagrożenie stosowania hydrazyny w systemie awaryjnego zasilania samolotów F-16, Autobusy. Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe, 2017, nr 6, s. 230-235.
16. Janeba-Bartoszewicz E., Kiciński M., Rojewski A.: Risk of hydrasine usage at civil airports, Journal of Mechanical and Transport Engineering, 2017, vol. 69, No. 2, p. 13-22.
17. Janeba-Bartoszewicz E., Rojewski A., Analysis of hazards occurring during the use of hydrazine, Air Traffic Engineering International Scientific Conference, Warszawa, 2018.
18. Christensen W.D, Hydrazine as Monopropellant for the F-16 Emergency Power Unit, The Second Conference of the Environmental Chemistry of Hydrazine Fuels:15 February 1979
19. Ciołek Z.J., Demel S., Hydrazyna – procedury jej przechowywania, wykonywania obsługi na samolotach F-16 oraz zasady postępowania w sytuacjach awaryjnych, Przegląd Sił Powietrznych, listopad 2008 s.42-71 .

### Analysis of fuel properties applied at a structure of aircraft

The article presents the current status of liquid fuels used in aviation. The physicochemical properties of these liquids are discussed against the background of the type of aviation and mission. Aviation fuels are mixtures of hydrocarbons most often obtained from conservative or processing crude oil, supplemented with additives improving their exploitation properties. Currently, aviation fuels occur in two basic types: fuels for turbojet engines and fuels for piston engines. The basic fuel for commercial air transport and military aviation is fuel for turbo-propeller engines. Synthetic compounds and various types of alternative fuels are used more rarely as aviation fuels. A specific role is played by hydrazine used in the emergency power supply system of aircraft, for example, in multi-purpose fighter planes F-16.

**Keywords:** liquid aviation fuels, alternative fuels in the aerodrome, hydrazine

### Autorzy:

dr **Edyta Janeba-Bartoszewicz** – Politechnika Poznańska, Wydział Inżynierii Transportu, Instytut Maszyn Roboczych i Pojazdów Samochodowych, pl. M. Skłodowska-Curie 5, 60-965 Poznań, edyta.janeba-bartoszewicz@put.poznan.pl.