



# Benzyny lotnicze a benzyny samochodowe **cz. 2**

*Zapraszamy do lektury drugiej części artykułu, w której szczegółowo przedstawimy parametry charakteryzujące omawiane benzyny i ich właściwości.*

## Parametry oceny jakości benzyn

Podstawowymi parametrami, określającymi jakość benzyn lotniczych, są:

- odporność na spalanie stukowe,
- lotność,
- właściwości energetyczne,
- zawartość ołowiu,
- właściwości palne,
- zawartość zanieczyszczeń i składników niepożądanych,
- odporność na magazynowanie.

## Odporność na spalanie stukowe

Odporność na spalanie stukowe (niekiedy zwane spalaniem detonacyjnym) jest podstawową właściwością, decydującą o przydatności eksploatacyjnej zarówno benzyn lotniczych jak i samochodowych. W przypadku obu rodzajów benzyn, jest ona oceniana nieco odmiennymi metodami, modelującymi specyficzne warunki pracy silników lotniczych i samochodowych. Odporność na spalanie stukowe benzyny lotniczej jest oceniana następującymi parametrami:

- liczba oktanowa motorowa, MON, na mieszance ubogiej,
- liczba oktanowa motorowa, na mieszance bogatej,
- liczba wyczynowa, zwana również współczynnikiem wyczynowym. Odporność na spalanie stukowe benzyny samochodowej jest oceniana parametrami:
- liczba oktanowa badawcza, RON,
- liczba oktanowa motorowa, MON,
- w niektórych krajach (np. USA) także parametrem, zwanym liczbą oktanową drogową - ROD.

**Liczba oktanowa, ON** (octane number) - jest to miara odporności benzyny na spalanie stukowe, oznaczana przez porównanie odporności na spalanie stukowe badanego paliwa i mieszanin paliw wzorcowych, o znanych liczbach oktanowych, na silniku badawczym, w znormalizowanych warunkach badania. Porównanie przeprowadza się przy znormalizowanym natężeniu stuku, osiąganym przez zmianę stopnia sprężania. Jako paliwa wzorcowe przyjęto: izooktan (2,2,4-trimetylopentan), któremu przypisano ON = 100 oraz n-heptan, któremu przypisano ON = 0. Mie-

szaniny paliw wzorcowych, w których zawartość składników jest określana ułamkiem, wyrażonym w procencie objętościowym, mają pośrednie liczby oktanowe. ON jest wielkością równą, co do wartości, zawartości izooktanu w tej mieszaninie. Przykładowo, mieszanina 95 % (V/V) izooktanu i 5 % (V/V) n-heptanu, jest paliwem wzorcowym, które, z założenia, ma liczbę oktanową 95. Liczby oktanowe paliw wzorcowych większe niż 100, są określane odpowiednim dodatkiem tetraetylu ołowiu.

**Liczba oktanowa motorowa, MON** (motor octane number) - liczba oktanowa, oznaczana na jednocylindrowym silniku badawczym. MON charakteryzuje zachowanie się benzyny w silnikach pracujących: przy dużej prędkości obrotowej, w wyższej temperaturze, na długich trasach samochodów lub długich przelotach samolotów, przy pełnym obciążeniu silnika. MON jest stosowana do oznaczania właściwości przeciwstukowych benzyn samochodowych i lotniczych (zakres przelotowy), w warunkach pracy silnika na mieszance ubogiej.

**Liczba oktanowa badawcza, RON** (research octane number) - liczba oktanowa, oznaczana na silniku badawczym tym samym, co liczba oktanowa motorowa, ale w lepszych warunkach pracy. LOB charakteryzuje zachowanie się benzyny w silnikach samochodów osobowych, w warunkach jazdy miejskiej lub terenowej, przy niepełnym obciążeniu silnika. Dla benzyny lotniczej ten parametr nie jest normowany.

**Liczba oktanowa drogowa, ROD** (road octane number) - liczba oktanowa, określana w badaniach drogowych, przez porównanie odporności na spalanie stukowe badanego paliwa i paliw wzorcowych. ROD charakteryzuje zachowanie się benzyny w silnikach samochodów osobowych, w warunkach jazdy na drodze podczas rozpędzania pojazdu, w ustalonym cyklu jezdny, przy zmiennym obciążeniu silnika. Aktualnie ROD jest obliczana jako wartość połowy sumy liczby oktanowej, oznaczanej metodą badawczą i liczby oktanowej, oznaczanej metodą motorową, wg formuły:  $LOD = (RON + MON) / 2$ ,

**Liczba oktanowa na mieszance bogatej** (supercharge rating, knock value, rich mixture) - jest to liczba oktanowa, oznaczana w przypadku benzyny lotniczej o MON <100, z zastosowaniem jednocylinrowego silnika badawczego, jak do oznaczania liczby oktanowej motorowej, jednak na mieszance bogatej, na podstawie wyników oznaczeń liczby oktanowej motorowej (MON) i przeliczeniu uzyskanych wyników, wg wartości stabelaryzowanych (ASTM D 2700, EN 25163). Liczba oktanowa na mieszance bogatej, w przypadku benzyn lotniczych, o liczbie oktanowej motorowej <100 jest odpowiednikiem współczynnika wyczynowego.

**Współczynnik wyczynowy** (performance number) - jest to parametr stosowany do oceny właściwości przeciwstukowych benzyn lotniczych, podczas pracy w silniku lotniczym na mieszance bogatej, w warunkach osiągania przez silnik ekstremalnie dużej mocy. Współ-

czynnik wyczynowy jest oznaczany z zastosowaniem specjalnych, jednocylinrowych silników badawczych z doładowaniem i bezpośrednim wtryskiem paliwa. W przyjętej skali, izooktan (2,2,4-trimetylopentan) ma współczynnik wyczynowy = 100. Teoretycznie, maksymalna wartość współczynnika wyczynowego może wynosić 161. Im większa ta wartość, tym większą maksymalną moc można uzyskać w silniku lotniczym w ekstremalnych warunkach pracy. W przypadku benzyny samochodowej, parametr ten nie jest oznaczany.

**Silniki zarówno lotnicze jak i samochodowe są konstruowane na określoną wartość liczby oktanowej benzyny.** Gdy użytkownik stosuje benzynę o niższej liczbie oktanowej, niż wymagana, może wystąpić spalanie stukowe, co jest powodem zmniejszenia mocy użytkowej silnika i może prowadzić do poważnych jego uszkodzeń. Stosowanie benzyn z większymi liczbami oktanowymi, niż zalecana dla danego typu silnika, może wcale nie wpływać na poprawienie osiągnięć silnika.

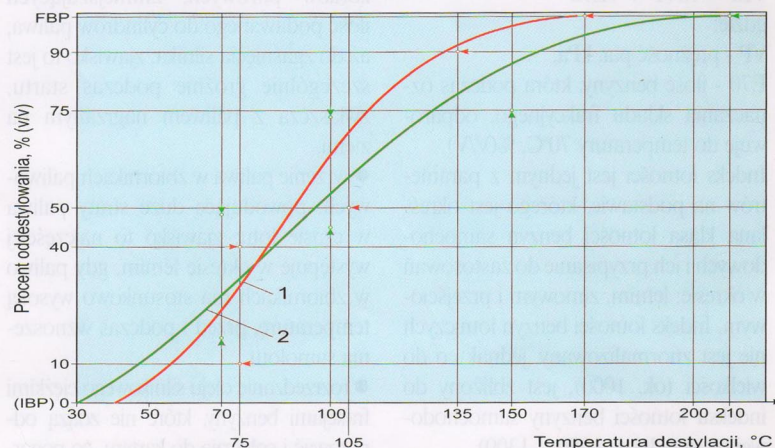
**Lotność.** Lotność benzyn, zarówno lotniczych jak i samochodowych, decyduje o procesie odparowania paliwa, tworzenia mieszanki paliwowo-powietrznej oraz procesie spalania i jest określana:

składem frakcyjnym oraz prężnością par, a w odniesieniu do benzyny samochodowej, także indeksem lotności.

**Skład frakcyjny** (distillation characteristics) - jest to zależność między temperaturą destylacji i udziałem w produkcie składników, destylujących do tej temperatury, w znormalizowanych warunkach oznaczania. Zależność ta jest wyznaczana przez wyznaczenie kilku oddestylowanych temperatur, do których oddestyluje część produktu, wyrażona w procencie objętościowym, opisana funkcją  $f(t)$ , postaci:  $\% (V/V) = f(t)$  lub przez wyznaczenie części produktu, wyrażonej w procencie objętościowym, jaka oddestyluje do określonej temperatury, opisana funkcją  $F(\% (V/V))$ , postaci:  $t = F(\% (V/V))$ . Przedstawione funkcje są określane jako krzywe destylacji. Skład frakcyjny charakteryzuje zdolność produktu do przechodzenia w stan pary (lotność). W przypadku paliw ciekłych, znacząco wpływa na ich właściwości eksploatacyjne. Znajomość składu frakcyjnego pozwala na wnioskowanie, z jakich frakcji składają się poszczególne paliwa.

**Skład frakcyjny benzyn lotniczych i benzyn samochodowych wykazuje istotne różnice.** Skład frakcyjny typowych benzyn: lotniczej i samochodowej, przedstawiono na rysunku 1.

Rys. 1 Skład frakcyjny benzyny lotniczej i benzyny samochodowej



1- benzyna lotnicza, 2- benzyna samochodowa. Strzałkami o tym samym kolorze, co krzywe, oznaczono normatywne wymagania. IBP (initial boiling point) - temperatura początku destylacji, FBP (final boiling point) - temperatura końca destylacji.



**Prężność par** (vapor pressure) - jest to ciśnienie wywierane przez pary produktu, w określonych, znormalizowanych warunkach pomiaru, w temperaturze 37,8°C. Parametr ten decyduje o zdolności paliwa do odparowania w gaźniku lub w cylindrze silnika. Ścisłe znormalizowana prężność par benzyny lotniczej, z jednej strony gwarantuje jej prawidłowe odparowanie, a z drugiej zapobiega powstawaniu korków parowych w układzie zasilania oraz stratom paliwa wskutek odparowania.

**Indeks lotności, VLI** (vapour lock index) - jest to parametr stosowany do charakteryzowania lotności benzyny samochodowej, obliczany wg wzoru:

$$VLI = 10VP + 7E70$$

gdzie:

VP - prężność par, kPa,

E70 - ilość benzyny, która podczas oznaczania składu frakcyjnego, odparowuje do temperatury 70°C, %(V/V).

Indeks lotności jest jednym z parametrów na podstawie, którego jest określana klasa lotności benzyn samochodowych i ich przypisanie do zastosowań w okresie: letnim, zimowym i przejściowym. Indeks lotności benzyn lotniczych nie jest znormalizowany, jednak co do wielkości (ok. 1000), jest zbliżony do indeksu lotności benzyny samochodowej (w przedziale 1050 ... 1300).

Na podstawie parametrów lotności oraz składu frakcyjnego (rys. 1), podstawowe

różnice w zakresie lotności benzyny lotniczej i benzyny samochodowej, można ująć następująco:

- benzyna samochodowa zawiera więcej składników lotnych niż benzyna lotnicza, co odzwierciedlają również wymagania w zakresie prężności par,
- benzyna samochodowa zawiera więcej składników ciężkich (odparowujących w wyższej temperaturze), niż benzyna lotnicza.

Z punktu widzenia lotności, zastosowanie benzyny samochodowej w silniku lotniczym może spowodować następujące, niekorzystne skutki:

- powstawanie w układzie zasilania korków parowych, zmniejszających ilość podawanego do cylindrów paliwa, aż do zgaśnięcia silnika; zjawisko to jest szczególnie groźne podczas startu, zwłaszcza z paliwem nagrzanym na ziemi,
- wrzenie paliwa w zbiornikach paliwowych, powodujące duże straty paliwa w czasie lotu; zjawisko to najczęściej występuje w okresie letnim, gdy paliwo w zbiornikach ma stosunkowo wysoką temperaturę, przed i podczas wznoszenia samolotu,
- rozrzedzenie oleju silnikowego ciężkimi frakcjami benzyny, które nie zdążą odparować i spływają do karteru, co pogarsza warunki smarowania i może spowodować zatarcie silnika oraz rozrzedzenie

oleju do tego stopnia, że spowoduje to zwiększenie jego objętości, aż do wystąpienia uderzeń hydraulicznych na tłok i uszkodzenie silnika,

- odporność na spalanie stukowe poszczególnych frakcji benzyny samochodowej jest różna, im wyższa temperatura wrzenia frakcji tym gorsza; może to być przyczyną, że do niektórych cylindrów gaźnikowego silnika lotniczego będzie podawana mieszanka paliwowo-powietrzna, wywołująca spalanie stukowe.

## Właściwości energetyczne

O właściwościach energetycznych benzyny decydują dwa znormalizowane parametry: gęstość i wartość opałowa dolna.

**Gęstość** (density) - jest to masa cieczy podzielona przez jej objętość lub inaczej masa jednostki objętości cieczy. Gęstość zależy od temperatury; z tego względu, przy podawaniu gęstości, jest ona jednoznacznie ustalana. Legalną jednostką gęstości jest kg/m<sup>3</sup>. Gęstość paliw, najczęściej jest podawana w temperaturze 15°C. W przypadku benzyny lotniczej, jest to parametr istotny, ponieważ decyduje o masie paliwa, jaką może zabrać statek powietrzny w zbiornikach, a uwzględniając wartość opałową, jest miarą energii zawartej w tym paliwie. Tym samym ma wpływ na zasięg samolotu. Gęstość służy również do przeliczania masy paliwa na objętość.

**Wartość opałowa dolna** (net heat of combustion) - jest to ilość energii (ciepła), jaka wydzieli się podczas całkowitego spalania jednostki masy lub jednostki objętości paliwa, w stałej objętości, w atmosferze sprężonego tlenu, nasyconego parą wodną, przy założeniu, że temperatura substratów i produktów reakcji jest jednakowa, produkty spalania: ditlenek węgla i ditlenek siarki znajdują się w stanie gazowym, a azot nie uległ utlenieniu; woda zawarta w paliwie przed spalaniem oraz powstała z wodoru, znajduje się w stanie pary. Wartość opałowa dolna jest miarą energii, jaka niesie ze

sobą paliwo, która może w silniku zostać zamieniona na energię mechaniczną. Jest to parametr istotny, ponieważ decyduje o zasięgu samolotu, a w przypadku pojazdu drogowego długości trasy, jaką pojazd może przejechać, zużywając określoną masę paliwa (nie objętość). Legalną jednostką wartości opałowej jest J/kg.

Należy mieć na względzie, że wartość opałowa benzyny lotniczej jest około 5% większa niż benzyny samochodowej, co pozwala uzyskać 5% więcej mocy.

**Zawartość ołowiu.** W benzynach etylizowanych, jako dodatek przeciwdziałający spalaniu stukowemu są stosowane związki ołowiu, głównie tetraetylak ołowiu - Pb(C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>4</sub>. Zawartość związków ołowiu w składzie etylizowanych benzyn lotniczych, jest usankcjonowana odpowiednimi wymaganiami norm produktowych. Bezolowiowe benzyny samochodowe nie mogą zawierać ołowiu, w stężeniu większym niż 5 mg/l, co sankcjonuje prawo europejskie i polskie, a także jest ustalone europejską normą produktową (EN 228:2004). Benzyny etylizowane w UE, praktycznie nie są już stosowane. Zaważyły na tym względy ekologiczne.

Dodatek etylizowanej benzyny lotniczej do bezolowiowej benzyny samochodowej, spowoduje przekroczenie dopuszczalnej zawartości ołowiu, co będzie przyczyną uszkodzenia katalizatora spalin.

### Właściwości palne

Właściwości palne decydują o bezpieczeństwie pracy z paliwem. Do oceny właściwości palnych benzyn są stosowane następujące parametry:

**Temperatura zapłonu** (flash point) - jest to najniższa temperatura, w której paliwo zapala się, po zbliżeniu płomienia do jego powierzchni.

**Temperatura samozapłonu** (autoignition point) - jest to temperatura samostnego zapłonu paliwa, przy braku płomienia lub iskry. Pary węglowodorów albo w postaci kropelek istotnie obniżają temperaturę samozapłonu. Nawet w przypadku względnie bezpiecznych: nafty lotniczej lub oleju napędowego mogą one ulec zapłonowi wówczas, gdy strumień paliwa zostanie rozpylony na gorącą powierzchnię. Takie przypadki mogą mieć miejsce, np. kiedy tankujący samolot ma jeszcze gorące silniki i hamulce kół.

**Granice wybuchowości** (explosion limits) - są to granice stężeń składnika w mieszaninie paliwa z powietrzem, przy określonym ciśnieniu i temperaturze w zakresie, których, mieszanina taka ulegnie wybuchowi po zbliżeniu płomienia lub przeskoaku iskry elektrycznej, o energii większej niż energia zapłonu. Granice wybuchowości określają tzw. przedział wybuchowości. Wyróżnia się: dolną granicę wybuchowości - najmniejsze stężenie par paliwa, przy którym mieszanina ulegnie wybuchowi oraz górną granicę wybuchowości - największe stężenie par paliwa, przy którym mieszanina ulegnie wybuchowi. Granice wybuchowości zależą od natury chemicznej składników paliwa i ciśnienia.

W normalnych warunkach eksploatacji, stężenie par paliwa często przekracza dolną granicę wybuchowości (np. podczas tankowania w systemie odkrytym). Również górna granica wybuchowości, w wielu sytuacjach może być osiągnięta.

Ma to miejsce np. podczas lądowania. Otaczające powietrze wpływa do opróżnionych częściowo zbiorników paliwa, ze względu na wyższe ciśnienie na poziomie lotniska, niż podczas lotu. Wówczas zawartość par paliwa w mieszaninie z powietrzem ulega zmniejszeniu i mieszanina osiąga górną granicę wybuchowości (patrz tabela 1.). Zarówno benzyna lotnicza jak i samochodowa są zaliczane do materiałów łatwopalnych, klasy I - stwarzających bardzo poważne zagrożenie pożarowe.

### Właściwości niskotemperaturowe

Od benzyn lotniczych wymaga się, aby ich temperatura początku krystalizacji była nie wyższa niż -58 lub -60°C. Taka temperatura początku krystalizacji gwarantuje możliwość eksploatacji statku powietrznego, praktycznie w każdych warunkach, zarówno na ziemi jak i podczas lotu. Parametr ten, w przypadku benzyny samochodowej, nie jest normowany, ponieważ benzyna te w eksploatacji, nie są schładzane do tak niskich temperatur. Przykładowo, przebadane próbki benzyny samochodowej wykazywały temperaturę początku krystalizacji, w przedziale od -57 do -49°C.

### Zawartość zanieczyszczeń i składników niepożądanych

Ze względów eksploatacyjnych lub na ochronę środowiska, niektóre składniki w składzie benzyn są szczególnie niepożądane. Ich zawartość jest oceniana bezpośrednio stężeniem w paliwie lub pośrednio, poprzez ocenę skutków ich niekorzystnego działania.

Tabela 1. Typowe właściwości palne ciekłych paliw węglowodorowych

Gatunek paliwa	Temperatura zapłonu, °C	Temperatura samozapłonu, °C	Przedział wybuchowości, %(V/V)
Benzyna lotnicza	- 55 ... - 1	320 ... 516	1,4 ... 12,0
Benzyna samochodowa	- 60 ... +1	300 ... 450	1,2 ... 14,0
Nafta lotnicza	> 35 ...74	227 ... 243	0,74 ... 5,32
Olej napędowy	> 55 ... 80	200 ... 230	-

Do składników, których zawartość w benzynach jest ograniczana należą:

- zawartość węglowodorów aromatycznych,
- zawartość benzenu,
- zawartość węglowodorów olefinowych,
- zawartość siarki,
- zawartość żywic.

**Zawartość węglowodorów aromatycznych** (aromatics content) - z jednej strony stanowią one te składniki benzyn, które poprawiają odporność na spalanie stukowe, z drugiej, jednak są źródłem toksycznych składników spalin oraz nagaru. Z tych względów, ich zawartość w benzynach samochodowych jest ograniczana do 42,0 % (V/V). W odniesieniu do benzyn lotniczych, takie ograniczenia są stawiane tylko w niektórych wymaganiach (np. lotnicze benzyny bezołowiowe). Rzeczywista zawartość węglowodorów aromatycznych, w etylizowanych benzynach lotniczych zawiera się w przedziale 35 ... 42 % (V/V), a w benzynach bezołowiowych na ogół nie przekracza 20 % (V/V).

**Zawartość benzenu** (benzene content) - ze względu na jego toksyczność i kancerogenność, we współczesnych benzynach samochodowych jest ograniczona do 1,00 % (V/V). W przypadku większości benzyn lotniczych, formalnie ten parametr nie jest ograniczany, ale rzeczywista zawartość benzenu również nie przekracza 1 % (V/V), a często nawet jest mniejsza niż 0,1 % (V/V).

**Zawartość węglowodorów olefinowych** (olefine content) jest ograniczana w benzynach samochodowych [do 18,0 % (V/V)], natomiast w benzynach lotniczych występują w bardzo małych stężeniach. Niektóre benzyny samochodowe zawierają tego typu składniki, ze względów technologicznych oraz na ich odporność na spalanie stukowe. Węglowodory olefinowe są składnikami mało stabilnymi chemicznie. Polimeryzują one i stanowią źródło żywic potencjalnych i faktycznych. Ich obecność

w benzynie może ograniczać okres magazynowania.

**Zawartość siarki** (sulfur content) - jest ograniczana, zarówno w benzynie lotniczej jak i samochodowej. Powodem jest szkodliwe oddziaływanie na środowisko (kwaśne deszcze), korozyjne oddziaływanie na układ wylotowy silnika, a w przypadku benzyny samochodowej również zatrucie katalizatora spalin. Obecność w paliwach, aktywnych korozyjnie związków siarki, jest również oceniana poprzez parametr działanie korodujące na miedź.

**Działanie korodujące na miedź** (copper strip corrosion) - jest to parametr pozwalający na ocenę, czy paliwo zawiera śladowe ilości substancji, wykazujących agresywność korozyjną w stosunku do miedzi i jej stopów. Takimi substancjami np. są siarkowodór oraz tiole (merkaptany). Badanie polega na kontaktowaniu paliwa z płytką miedzianą w znormalizowanych warunkach i porównaniu wyglądu płytki ze skalą wzorców (ASTM D 130). Wymagana dla benzyn, klasa 1 oznacza, że takich substancji paliwo nie zawiera.

**Żyvice** (gums) - są to silnie polarne substancje wielkocząsteczkowe (o średnim lub dużym ciężarze cząsteczkowym), o konsystencji ciekłej lub stałej, zawierające w składzie, głównie łańcuchy i pierścienie węglowodorowe, a także atomy: tlenu, siarki, azotu lub innych pierwiastków, powstające głównie w rezultacie utleniania i polimeryzacji węglowodorów nienasyconych, pod wpływem: podwyższonej temperatury, kontaktu z tlenem powietrza oraz czynników katalizujących. Żyvice są niepożądanymi składnikami benzyn. Są one rozpuszczalne w benzynie, w normalnych warunkach przechowywania i postępowania; wytrącają się podczas odparowania. Wyróżnia się: żyvice obecne (nieprzemysłowe i przemysłowe rozpuszczalnikiem) oraz żyvice potencjalne.

**Oddziaływanie z wodą** (water reaction) - jest to parametr normowany w przypadku benzyn lotniczych. Pomiar pole-

ga na wymieszaniu próbki paliwa i takiej samej objętości wody, a po rozwarstwieniu, pomiarze zmiany objętości warstwy wodnej. Jeżeli ta zmiana przekracza 2 ml oznacza to, że benzyna zawiera niedopuszczalne w składzie benzyny lotniczej, związki rozpuszczalne w wodzie, np. alkohole. Ponieważ z założenia, benzyny samochodowe mogą zawierać takie związki, w niektórych przypadkach, test ten pozwala wykryć dodatek benzyny samochodowej do benzyny lotniczej.

## Przewodnictwo elektryczne

Benzyny, zwłaszcza zawierające zanieczyszczenia stałe lub zdyspergowaną wodę, podczas ruchu, wykazują skłonność do tworzenia i gromadzenia ładunków elektryczności statycznej, tym większą, im mniejsze jest ich przewodnictwo elektryczne. Może to być powodem wystąpienia wyładowań elektrycznych, co grozi wybuchem par, w przypadku osiągnięcia przez nie przedziału wybuchowości. Zjawisko dotyczy zarówno benzyn lotniczych jak i benzyn samochodowych, ale w przypadku benzyn lotniczych jest szczególnie groźne. Z tego względu, do benzyny lotniczej jest wprowadzany (opcjonalnie) dodatek antyelektrostatyczny (Stadis 450). Wprowadzenie tego dodatku do składu benzyny, powoduje zwiększenie jej przewodnictwa elektrycznego, które jednak nie powinno być większe, niż 450 pS/m. Większe przewodnictwo elektryczne benzyny może być powodem zakłóceń pracy elektronicznych, pokładowych urządzeń pomiarowych. Przy czym uznaje się, że przewodnictwo paliw nadtowych >50 pS/m jest wystarczające do szybkiego rozładowania ładunków elektryczności statycznej. W przypadku benzyn samochodowych, parametr ten jest ważny, ale nie jest oceniany.

## Odporność na magazynowanie

Okres magazynowania benzyny lotniczej zależy od warunków magazynowa-

nia oraz znormalizowanej właściwości, zwanej odpornością na utlenianie lub stabilnością oksydacyjną, ściśle związaną ze składem chemicznym benzyny. Ocena odporności na utlenianie polega na kontaktowaniu próbki benzyny z tlenem, w specjalnym ciśnieniowym naczyniu, zwanym bombą do utleniania. Po okresie kontaktowania jest badana zawartość żywic potencjalnych, która nie powinna przekraczać 6 mg/100 ml oraz ilość wydzielonych osadów, która nie powinna przekraczać 2 mg/100 ml. Aby benzyna spełniała te wymagania, do jej składu może być wprowadzany dodatek: inhibitor utleniania, z listy dodatków dopuszczonych do stosowania, w maksymalnym stężeniu do 24 mg/l. Praktyka wykazuje, że benzyna spełniająca wymagania w tym zakresie, w odpowiednich warunkach, może być magazynowana do 1 roku, w zbiornikach naziemnych oraz do 2 lat, w zbiornikach podziemnych.

**Odporność na magazynowanie benzyn samochodowych jest oceniana z zastosowaniem parametru, zwanego okresem indukcyjnym (oxidation stability).** Okres indukcyjny jest to okres, w któ-

rym, w warunkach przyspieszonego utleniania, benzyna samochodowa nie zmieni swoich właściwości, w sposób istotny. Oznaczanie okresu indukcyjnego benzyny samochodowej, polega na kontaktowaniu próbki z tlenem, pod ciśnieniem 0,7 kPa, w temperaturze 100°C i pomiarze czasu, po którym krzywa zależności ciśnienia od czasu, ulegnie załamaniu.

W przypadkach benzyn samochodowych przeznaczonych do długotrwałego magazynowania okres magazynowania najczęściej wynosi 2 do 3 lat, natomiast benzyny przeznaczone do szybkiego zużycia (zawierające związki tlenowe), na ogół mogą być magazynowane do 1 roku, o ile ich okres indukcyjny jest nie krótszy, niż 360 minut.

### Mieszanki benzyny lotniczej i samochodowej

W zdecydowanej większości przypadków instrukcje obsługi samolotów nie zezwalają na dolewki benzyny samochodowej do benzyny lotniczej. Jednak, niektórzy użytkownicy samolotów, incydentalnie stosują mieszanki benzyny lotniczej z nie-

wielkim dodatkiem benzyny samochodowej. Jakie właściwości miały by takie mieszanki, w przypadku dostępnych w Polsce benzyn: AVGAS 100LL oraz bezołowiowej premium 95/85, w zakresie wybranych parametrów istotnych dla silnika lotniczego, przedstawia tabela 2.

Z danych zawartych w tabeli 2, wynika, że już dodatek 25 % (V/V) benzyny samochodowej może powodować, że mieszanka nie spełnia wymagań, stawianych benzynie lotniczej, co grozi poważnymi konsekwencjami.

### Dopuszczenie do eksploatacji

Wymagania norm produktowych na benzyny samochodowe (w Polsce aktualnie PN-EN 228 [14]) nie są obowiązujące. Obowiązują natomiast wymagania Rozporządzenia Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej [15], obejmujące w zasadzie wymagania, dotyczące ochrony środowiska. Są one zgodne z wymaganiami, zawartymi w Dyrektywie Europejskiej [16].

Odmienne są traktowane benzyny lotnicze. Muszą one spełniać wymagania,

Tabela 2. Wybrane właściwości mieszanek benzyn: AVGAS 100LL oraz premium 95/85

Parametry	Właściwości				
	AVGAS 100LL (A)	75 % (V/V) A + 25 % (V/V) B	50 % (V/V) A + 50 % (V/V) B	25 % (V/V) A + 75 % (V/V) B	Premium 95/85 (B)
LOM	101,7	98,9	94,7	90,7	86,1
Gęstość p15, kg/m <sup>3</sup>	713	737	748	765	783
Skład frakcyjny					
IBP, °C	37,4	38,1	40,2	41,6	41,6
E 10 % (V/V), °C	68,1	68,9	69,3	71,0	70,7
E 50 % (V/V), °C	104,1	105,8	107,6	111,3	104,0
E 90 % (V/V), °C	121,4	130,2	138,8	152,1	146,1
FBP, °C	157,1	170,8	175,9	180,7	185,7
Prężność par, kPa	46,0	45,9	45,1	46,2	47,1
Temperatura krystalizacji, °C	<-58	<-58	-56	-57	-57

Kolorem czerwonym zaznaczono te wielkości parametrów, które nie spełniają wymagań stawianych benzynie lotniczej 100LL.

→ jednej z powszechnie uznawanych norm produktowych, a ponadto w myśl przepisów przyjętych w lotnictwie większości krajów, zawartych w dokumentach, sygnowanych akronimem FAA (Federal Aviation Administration) [17] muszą przejść z pozytywnym rezultatem, badania silnikowe. W Polsce rezultaty takich badań muszą uzyskać akceptację Inspektoratu Kontroli Cywilnych Statków Powietrznych (IKCSP).

Należy, więc odpowiedzieć na pytanie: Kiedy można stosować bezołowiową benzynę samochodową w samolocie? Większość samolotów wymagających zezwolenia na lot posiada certyfikat, nakazujący stosowanie jako paliwa benzyny lotniczej, nie zaś benzyny samochodowej. Tylko w przypadku niektórych samolotów przyznane zostały dodatkowe certyfikaty (tzw. STC - Supplementary Type Certificate), na mocy, których do zasilania ich silników możliwe jest stosowanie bezołowiowej benzyny samochodowej. Certyfikat STC jest przyznawany wyłącznie po przeprowadzeniu oceny układu paliwowego w konkretnym płatowcu i w odniesieniu do konkretnego silnika. Pod uwagę brana jest przede wszystkim możliwość tworzenia się korków parowych w układzie paliwowym.

Przyznanie certyfikatu STC nie jest jednoznaczne, że producent płatowca lub silnika aprobuje stosowanie benzyny samochodowej. Certyfikat ten jest, bowiem przyznawany przez władze wydające świadectwa zdatności do lotu danego typu samolotu. W dokumencie tym zamieszczonych jest kilka ograniczeń odnoszących się do stosowania benzyny samochodowej. Niektóre z nich mają postać obowiązujących na całym świecie wymagań proceduralnych, takich jak konieczność umieszczenia w kabinie pilota, instrukcji obsługi samolotu oraz na filtrze paliwa odpowiednich informacji o użytkowaniu benzyny samochodowej. Oprócz tego istnieją pewne istotne ograniczenia eksploatacyjne. W przypadku eksploatacji

samolotu zasilanego benzyną samochodową obowiązuje ograniczenie pułapu do wysokości 1825 m (6000 ft) i ograniczenie maksymalnej temperatury paliwa do 20°C. Ograniczenie dotyczy temperatury paliwa, nie zaś temperatury otaczającego powietrza. Temperatura paliwa w zbiorniku może być znacznie wyższa od 20°C, jeśli samolot jest narażony na bezpośrednie działanie promieni słonecznych. Z certyfikatu STC mogą korzystać wyłącznie samoloty prywatne i samoloty wymagające zezwolenia na lot (doświadczalne). Uważa się, że narażanie szerokiej publiczności na niebezpieczeństwo związane z lataniem samolotami napędzanymi benzyną samochodową jest niedopuszczalne.

Ponieważ większość producentów silników lotniczych nie aprobuje stosowania benzyny samochodowej należy, zatem brać pod uwagę możliwość unieważnienia gwarancji, którą objęty jest silnik.

### Podsumowanie

Benzyna lotnicza i benzyna samochodowa, mimo zbliżonego składu chemicznego, są to paliwa o odmiennych właściwościach fizykochemicznych i eksploatacyjnych. Odpowiadając na postawione na wstępie pytania, można stwierdzić: Poza szczególnymi przypadkami, określonymi instrukcjami eksploatacji i innymi przepisami, benzyny samochodowe nie mogą być użytkowane jako paliwo do silników lotniczych. Tankowanie statków powietrznych bezołowiowymi benzynami samochodowymi jest możliwe tylko wówczas, gdy zezwala na to instrukcja eksploatacji statku powietrznego i z zachowaniem ograniczeń eksploatacyjnych, wynikających z tej instrukcji. Stosowanie benzyn samochodowych do silników lotniczych, w nieuprawnionych formalnie przypadkach jest narażaniem załogi samolotu i osób postronnych na niebezpieczeństwo, z utratą życia łącznie i jest działaniem nieodpowiedzialnym.

W przypadku lotniczych benzyn etylizowanych nie mogą być one stosowane do tankowania samochodów, ze względu na możliwość zatrucia katalizatorów spalin oraz ochronę środowiska. Natomiast brak przeciwwskazań do tankowania samochodów bezołowiowymi benzynami lotniczymi, o odpowiednich właściwościach przeciwstukowych.

### Bibliografia

- [1] Górski K., Górski W.: Napędy lotnicze. Materiały pędne i smary, WKŁ, Warszawa 1986;
- [2] Krupa B., Górski W.: Paliwa oleje i smary TOTALFINAELF dla lotnictwa; Materiały symposium "Paliwa, oleje i Smary Lotnicze", Góra Zár, 2002;
- [3] Krupa B., Górski W.: Paliwa oleje i smary TOTAL dla lotnictwa wojskowego, TOTALFINAELF Kiekrz, 2002;
- [4] Krupa B., Górski W.: Paliwa oleje i smary TOTAL dla lotnictwa - Materiały seminarium "Paliwa i smary dla wiroplątów", Instytut Lotnictwa, Warszawa, 2003;
- [5] Wojdat Cz.: Cysterny-dystrybutory lotniskowe; Paliwa, Oleje i Smary w Eksploatacji; Nr 60/1999;
- [6] Krupa B.: Tankowanie poważna rzecz; Przegląd Lotniczy; 04/2002 i 05/2002;
- [7] ASTM D 910:1999: Standard Specification for Aviation Gasolines;
- [8] ASTM D 6227:2000: Grade 82 Unleaded Aviation Gasoline;
- [9] DefStan 91-90 (DERD 2485) Gasoline, Aviation;
- [10] AIR 3401/1: Essences aviation pour moteurs a piston;
- [11] NO 91-A235: Materiały pędne i smary - Benzyna lotnicza kod MPS F-18;
- [12] IATA: Guidance Material for Aviation Turbine Fuels Specifications, Jan, 2004;
- [13] AIR TOTAL: Quality Control & Operation Manual, (AT OPE ICQ 001 00E): 2004;
- [14] PN-EN 228: 2003 Paliwa do pojazdów samochodowych - Benzyna bezołowiowa - Wymagania i metody badań.
- [15] Rozporządzenia Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej, z dnia 23 grudnia 2003 r. w sprawie wymagań jakościowych dla paliw ciekłych (Dz. U. Nr 230, poz. 2297);
- [16] Directive 2003/17/EC of the European Parliament and of the Council, of 3 March 2003, amending Directive 98/70/EC relating to the quality of petrol and diesel fuels;
- [17] FAA: Certifications Requirements.

Dr inż. Wiesław Górski