

Zbigniew Pągowski  
Instytut Lotnictwa

## Biopaliwa dla lotnictwa

### Biofuels for aviation

Słowa kluczowe: AGE 85, estry, etanol, ETBE, paliwo rzepakowe, Jet-A1, JP-8, MTBE, MTHF, OxyDiesel, P-fuel, paliwa recyklingowe

Key words: AGE 85, ester, ethanol, ETBE, rapeseed fuel, Jet-A1, MTBE, MTHF, OxyDiesel, P-fuel, recycling fuels

Zalety biopaliw takich jak alkohole (oraz etery) otrzymywane z wielu różnych roślin służących do ich produkcji, jak np. trzcina cukrowa, kukurydza, ziemniaki, zboża oraz estry metylowe lub etylowe wyższych kwasów tłuszczowych olejów otrzymywane z roślin oleistych, takich jak m.in. rzepak lub soja, potwierdzone badaniami w wielu ośrodkach badawczych, krajowych i zagranicznych, przekonują o celowości zastosowania ich w postaci mieszanek z lotniczymi paliwami węglowodorowymi lub w prawie czystej postaci jako nowe paliwa lotnicze. W referacie podano kilka informacji o pracach w Instytucie Lotnictwa i na świecie zmierzających do zastosowania ich także w lotnictwie. Proponuje się zintegrowanie działań badawczych w dziedzinie biopaliw lotniczych w Polsce

Biofuels like alcohol (and ethers) are produced from many different plants like sugar cane, corn, potatoes, cereals and methyl or ethyl esters of fatty oils are received from plants of rape, sunflower or soya. Due to similar properties to conventional petrol fuels, confirmed by investigations in many domestic and foreign research projects and experiences convince about their use in pure form or as blends with petrol fuels. This paper presents some data about positive effects of biofuels use in all means of transport including aviation and propose introduction of national strategic biofuel program similar to programs in European countries, the USA and Canada.

### Wstęp

Wprowadzenie biopaliw do gospodarki paliwowej, opartej przede wszystkim o paliwa ropopochodne, jest opóźniane przez sektor paliwowy, głównie z uwagi na aspekt ekonomiczny, wynikający z dużych kosztów surowca, a co za tym idzie obniżenie zysków tego sektora. Niemniej jednak, dobre i różnorodne własności biopaliw powodują włączanie ich coraz szerzej do gospodarki paliwowej, do modyfikowania własności paliw ropopochodnych. Silnym powodem jest rosnące zanieczyszczenie atmosfery ziemskiej, zmiany klimatyczne, a także perturbacje społeczne wynikające z nierównomiernego rozkładu bogactw naturalnych, ich

wyczerpywania się w czasie i miejsc ich wykorzystania, co jest zarzewiem konfliktów międzynarodowych. W ramach III Konferencji Stron Ramowej Konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu, Kioto, 1–12.12.1997 r. podjęto dla państw — stron protokołu postanowienia i wiążące decyzje o sankcjach, dotyczące emisji gazów cieplarnianych, w celu ochrony klimatu ziemi. Polska została zobowiązana do redukcji o 6% netto emisji CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O w stosunku do roku 1998 uznanego za bazowy i emisji PFC's, SF<sub>6</sub>, HFC's odpowiednio dla roku bazowego 1990 lub 1995. Redukcja emisji obejmować będzie działania zmierzające do ograniczenia emisji w transporcie, handel emisjami, wdrażanie odnawialnych źródeł energii, w tym także biopaliw, eliminację barier rynkowych umożliwiającą ich wprowadzenie, wprowadzenie zrównoważonej gospodarki rolnej i leśnej, etc. Procedury ratyfikacyjne protokołu do chwili obecnej nie zostały zakończone w żadnym z liczących się sygnatariuszy układu. Sprzeczności interesów zarówno wewnątrz kraju (np. przemysł naftowy — rolnictwo) jak i na zewnątrz (np. eksport emisji, podstępne uzależnienia technologiczne) powodują nie przewidywane wcześniej opóźnienie procesu ratyfikacji i wdrażania postanowień. Stąd też wdrażanie biopaliw, poparte licznymi eksperymentami, postępuje wolno. Problem zaostrza światowy rynek paliw, patrz np. rurociąg Ukraina – Polska a Rosja. Wszystkie te racje są oczywiście także postrzegane przez lotnictwo i ono od zarania uczestniczy w procesie wprowadzania biopaliw zarówno za granicą jak i u nas w Polsce. Instytut Lotnictwa prezentował kilka prac z dziedziny biopaliw na forum krajowym jak i międzynarodowym prowadząc badania w ramach projektów finansowanych na miarę naszych możliwości przez Komitet Badań Naukowych i Centralę Produktów Naftowych CPN Wrocław. W innych krajach miliony dolarów przeznaczają się na badania, ocenę i komercjalizację biopaliw. Dla przykładu już obecnie w USA dodaje się do benzyny około 5,7 miliarda litrów alkoholu — w Polsce około 100 mln litrów alkoholu. Do silników Diesla w USA produkuje około 113,6 milionów litrów biopaliwa — w Polsce do silników Diesla obecnie nikt nie produkuje biopaliwa. Produkcja biopaliw w Europie zamyka się obecnie sumą 1 020 000 ton paliwa rzepakowego, używanego w czystej postaci dla celów transportowych w Niemczech w ilości około 205 000 ton, dla celów grzewczych 145 000 ton głównie we Włoszech. Dobry przykład dla nas daje czeska gospodarka produkując 44 000 ton estrów. Ilość wyprodukowanego na świecie etanolu do celów paliwowych rośnie wraz z ogólną ilością wyprodukowanego etanolu. We Francji produkcja eteru (ETBE) wynosi około 188 000 ton, w Brazylii etanol odwodniony osiąga ilość 4,6 mld litrów. W raporcie niemieckich specjalistów przewiduje się, że pod paliwo rzepakowe w Polsce (Czechach) w 2005 roku powinno być obsiane rzepakiem 1,5 (0,3) mln ha, a drugie 1,5 (0,3) mln ha pod produkcję roślin do produkcji etanolu!

## Badania biopaliw w Instytucie Lotnictwa

---

Kolejne światowe kryzysy paliwowe wyzwały olbrzymi wysiłek badawczy w dziedzinie biopaliw koncentrujący się przede wszystkim w obszarze wykorzystania biopaliw w transporcie naziemnym, rzadziej transporcie wodnym. Prezentowano to na wielu konferencjach, z których pierwszą, najważniejszą w Europie, była zorganizowana w 1994 roku konferencja w Tours „1st European Motor Biofuel Forum”. Polskę reprezentowali wówczas przedstawiciele Ministerstwa Rolnictwa, CPN Wrocław i Instytutu Lotnictwa, który pokazał na wystawie plakatów wyniki badań polskiego paliwa rzepakowego oraz futurystyczną wizję farm paliwowych z podziemnym systemem nawadniania pól rzepakowych „Biofuels in Poland — experiments and future”. Prezentacja obejmowała wyniki projektu badawczego nr 9 0012 91 01 prowadzonego w Instytucie Lotnictwa i finansowanego przez Komitet Badań Naukowych (KBN), gdzie przebadano około 34 różnych paliw zagranicznych i polskich. W ramach projektu przebadano kilka silników krajowych i zagranicznych w różnych zastosowaniach, w tym także do pracy w kopalniach. W tym czasie zapoznano się także z sytuacją w Czechach, gdzie między innymi odwiedziono agrorafinerię „Dolany” i Zakłady „Chemofarma” w Uści nad Łabą, co przekonało KBN do finansowania dalszej działalności nad biopaliwami. Prace nie obejmowały niestety silników lotniczych. Efektem medialnym tego projektu w Polsce było osiągnięcie 170 000 km przebiegu na paliwie rzepakowym przez samochód „Polonez Caro Diesel” oraz przekroczenie koła podbiegunowego przez jacht s/y „Politechnika” używający paliwa rzepakowego w silniku manewrowym Ursus, przy zawijaniu do portów, m.in. Amsterdam i Narwik, co było szeroko odnotowane przez prasę skandynawską. Polskie paliwo rzepakowe było także dwukrotnie prezentowane na Ukrainie, gdzie zasilalo ukraiński traktor i autobus Jelcza z silnikiem mieleckim SW 680, który dowiozł nas na pokazy. Wkrótce w ramach projektu zamawianego KBN powstała pierwsza polska agrorafineria w Mochelku, zbudowana przez „Chemadex” Warszawa, produkująca paliwo według polskiej technologii opracowanej przez A. Adamczyka, wg projektu polskiej normy na paliwo rzepakowe, opracowanej przez Instytut Lotnictwa, ogłoszonej wcześniej na konferencji ISATA 26. Paliwo z agrorafinerii sprzedawano na stacjach CPN Wrocław w postaci 5% dodatku do oleju napędowego pod nazwą „Biodiesel”, a także zasilano polskie czołgi i wozy bojowe na wrocławskim poligonie, gdzie dostarczono je także z zapasów Instytutu Lotnictwa. W Instytucie Lotnictwa prowadzono badania biopaliw wytworzonych z rzepaku i konopi, wysianych na ziemiach skażonych oraz biopaliw z innych roślin, takich jak lnianka, gorczyca, katran abisyński (znany również jako kapusta abisyńska), hodowanych na specjalnych polach doświadczalnych SGGW Warszawa. Liczne eksperymenty były prowadzone na uczelniach i w wojsku. Powstały ciekawe odmiany technologiczne paliwa rzepakowego w Zakładach Azotowych

„Kędzierzyn” S.A., np. tzw. „Kekodiesel” używany w kontrolowanej eksploatacji zakładowego autobusu, paliwo „Rok-met” w Zakładach Chemicznych „Rokita” (niewiele różniące się składem i parametrami fizyko-chemicznymi od innych paliw rzepakowych polskich i zagranicznych).

Wyniki badań potwierdzały adekwatność polskiego wysiłku badawczego i technologicznego w stosunku do państw kreujących podobne osiągnięcia, ponieważ na polskim paliwie:

- Moc i moment obrotowy dla większości silników praktycznie nie ulegają zmianie (+0,7 do -5,5%), co jest efektem odmierzenia objętościowego dawki paliwa przez pompę. Wskutek nieco większego godzinowego zużycia paliwa o około 8–14%, rekompensuje się spadek wartości opałowej paliwa, co świadczy o wyższej sprawności energetycznej procesu spalania, szczególnie przy wyższych obciążeniach. Nieco spadają przyspieszenia testowanych pojazdów, o około 3–11% w zależności od stanu cieplnego silnika.
- Obciążenia mechaniczne i ciepłe praktycznie pozostają na tym samym poziomie. Temperatury spalin spadają o około 3–10%. Maksymalne ciśnienia spalania rosną o około 5%, silniej rosną maksymalne ciśnienia wtrysku do 25%, co zwiększa nieco silniej obciążenia węzłów przenoszenia mocy z silnika na pompę wtryskową.
- Zwracają uwagę dobre własności rozruchowe silnika. Potwierdza to eksploatacja zimowa samochodu „Polonez Caro diesel”. W temperaturach powietrza poniżej -12°C można z powodzeniem stosować odpowiednie dodatki depresujące lub mieszaniny z olejem napędowym zimowym lub benzyną, analogicznie jak dla oleju napędowego letniego.
- Praktycznie nie ulega zmianie hałaśliwość silnika.

Korzystne własności paliwa rzepakowego w porównaniu z olejem napędowym to:

- obniżenie emisji SO<sub>2</sub> (niski poziom siarki, około 0,001%) i CO<sub>2</sub> w cyklu rocznym (100% odnawialność), co zmniejsza zjawisko „kwaśnych deszczy” i efekt cieplarniany;
- spadek zadymienia spalin o 50–80% w stanach ustalonych i dynamicznych, niski przyrost zadymienia spalin w czasie eksploatacji;
- spadek zawartości CO i HC w spalinach nawet do 40%, spadek związków muta- i kancerogennych, spadek cząstek stałych w spalinach od 10–60%;
- obserwuje się jednak zwiększoną emisję NO<sub>x</sub> o około 2–15%, co wynika z obecności tlenu związanego w grupie estrowej poprawiającego proces spalania;
- brak działania drażniącego i toksycznego na organizm ludzki (na skórę rąk, oczy, doustnie, np. 10-krotnie mniej niż sól kuchenna w stężeniu 1,75 g/kg wagi);
- biodegradowalność 98,3% w ciągu 21 dni;

- poprawione własności smarne paliwa, bardzo dobry stan współpracujących elementów aparatury wtryskowej, pozytywne wyniki badań prób długotrwałych w Instytucie Lotnictwa (ponad 5 000 godzin).

Obecnie prace badawcze, finansowane przez KBN, w dziedzinie biopaliw prowadzone są w ograniczonym zakresie i dotyczą nie reglamentowanych składników spalin. Obiektem badań jest turbodoładowany silnik wysokoprężny z chłodzeniem powietrza doładowującego. Wyniki pokazuje przykładowo tabela 1. Pewne prace są prowadzone także na silnikach badawczych o wysokim stopniu sprężania, spalających mieszanek ubogą, wspomaganą katalitycznym spalaniem, w postaci komory wstępnej wyposażonej w katalizator i świecę zapłonową. Prace te są jednak ukierunkowane bardziej na problem katalitycznego spalania niż na prace nad biopaliwami. Podobna sytuacja dotyczy prac w silnikach Otto z bezpośrednim wtryskiem paliwa lub z elektronicznie sterowanym wtryskiem wysoko-ciśnieniowym, które są także prowadzone w Zakładzie Silników Tłokowych Instytutu Lotnictwa.

Tabela 1

Wyniki badań nie reglamentowanych składników spalin

Punkt pracy silnika	Składnik spalin	Emisja [g/kWh] ON*	Emisja [g/kWh] RME*	Zmiana emisji w [%]
Moment Max. N = 1440 rpm	Benzen	0,002	0,001	-50
	Toluen	0,030	0,015	-50
	Acetaldehydy	0,027	0,032	+19
	Węglowodory ogółem	0,763	0,509	-33
Moc znamionowa N = 2400 rpm	Benzen	0,010	0,004	-60
	Toluen	0,050	0,039	-22
	Acetaldehydy	0,153	0,105	-32
	Węglowodory ogółem	1,097	1,109	+1

\* — ON – olej napędowy; RME – paliwo rzepakowe

## **Eksplatacja samochodu „Polonez Caro 1.9 l Diesel”**

Samochód „Polonez Caro Diesel” został wypożyczony do prób na mocy porozumienia pomiędzy Instytutem Lotnictwa a FSO Warszawa w roku 1993, co kontynuowało następnie do roku 1998 „Daewoo-FSO”. Paliwo do prób było produkowane początkowo w Zakładach Azotowych „Kędzierzyn” S.A., spółce „SOPUR” w Bydgoszczy, a następnie także w polskiej agrorafinerii „Mochełek”, gdzie dokonano historycznego pierwszego tankowania paliwa do naszego samochodu doświadczalnego (fot. 1).



Fot. 1. „Polonez” przed agrorafinerią „Mochelek” wśród pól rzepaku

Własności i jakość paliwa w czasie eksploatacji sprawdzano zgodnie z projektem polskiej normy dla paliwa rzepakowego i dopuszczano do prób w Laboratorium Cieczy Roboczych i Smarów Instytutu Lotnictwa. Z uwagi na różne właściwości poszczególnych partii paliw związane z różnicą w jakości surowca, tj. oleju rzepakowego, jakością jego oczyszczenia, technologią produkcji paliwa, wielkością zamówionej partii paliwa, kolejnością szarży paliwa, jakością filtrowania, bieżącego zapotrzebowania na paliwo, wielkością depresacji, etc. świadomie dopuszczano do eksploatacji niewielkie partie paliwa z małymi odchyleniami od projektu normy polskiej. Dotyczyły one np. zwiększonej zawartości wody, co nie stanowiło żadnego problemu w okresie letnim. Nie wpływało to także np. na temperaturę zimnego rozruchu, ponieważ silnik uruchamiał się bez kłopotów do  $-14^{\circ}\text{C}$ . Zawartość wody w paliwie nie przekroczyła 1000 ppm., tj. wartości dopuszczalnej dla normy czeskiej. Dla informacji ważniejsze różnice w normach podano w tabeli 2. Ponieważ paliwo dostarczano w beczkach 200 l oraz przechowywano przy dłuższych jazdach w kanistrach, stwierdzono kumulację zanieczyszczeń w filtrze paliwa. W pewnych warunkach (2 szczególne przypadki) stwierdzono pojawienie się osadów zatykających filtr paliwa i oblepiających wewnątrz zbiornika paliwa, co wymagało mycia zbiornika paliwa i wielokrotnie szybszej wymiany filtra. Należy sądzić, że miały na to wpływ:

- własności myjące paliwa, które jest świetnym rozpuszczalnikiem,
- ołowiony zbiornik paliwa, oddziałujący katalitycznie na tworzenie się osadu,
- antykorozyjne zabezpieczenie kanistra, uwaga jak przy zbiorniku,
- system wentylacji zbiornika paliwa,

- higroskopijność paliwa,
- mikroorganizmy, biodegradowalność,
- drgania i wibracje pojazdu,
- specyficzne warunki atmosferyczne (duża wilgotność, temperatury około 0°C).

Tabela 2

Ważniejsze różnice w normach różnych krajów dotyczące paliwa rzepakowego

Parametr	USA	Austria*	Francja	Niemcy	Włochy	EEC	Polska
Liczba jodowa [g J <sub>2</sub> /100 g]				115		115	140
Zawartość wody [mg/kg]	500		200	300	700	500	500
Temp. blokoło zimn. filtra [°C]		-8,-15		-10,-20	0		-12
Zawartość wolnej gliceryny [% m/m]	0,02	0,03		0,02	0,05		0,03
Zawartość związanej gliceryny [% m/m]	0,24	0,25		0,25		0,03	0,3
Monoglicerydy [% m/m]			0,8	0,8	0,8		określić
Diglicerydy [% m/m]				0,1	0,2	0,8	określić
Triglicerydy [% m/m]				0,1	0,1		określić

\* także Czechy

Wyniki pomiarów zanieczyszczeń poprzez oznaczenie metali ciężkich w próbkach pobranych z beczki, kanistra, filtra paliwa pokazuje tabela 3. Obserwowana relatywnie wysoka zawartość Pb w próbkach paliwa była wynikiem stosowania ołowiowania wewnętrznych ścianek zastosowanego zbiornika paliwa. Stwierdzano także niewielkie ilości ołowiu w próbkach oleju smarującego. Stosowanie nowych rozwiązań zbiorników samochodowych usunie zawartość Pb do wielkości śladowych. Warstwa paliwowa po dokładnym odfiltrowaniu i osuszeniu w trzech wymienionych próbkach, na podstawie analizy chromatograficznej i absorpcyjnej spektrometrii atomowej nie zmienia swego składu. Obecność fazy wodnej jest jednak bardzo niewskazana. W trakcie badań doszło bowiem do zgromadzenia się jej resztek w filtrze (starego typu z pompką membranową odpowietrzającą), co przy bardzo niskich temperaturach było przyczyną perforacji membrany pompki i zapowietrzania się silnika (zjawisko to występowało w samochodach także przy oleju napędowym). Wytwórca silnika zmienił typ obudowy filtra. Dobre własności paliwa rzepakowego jako rozpuszczalnika zwracają uwagę na konieczność bacznej obserwacji powierzchni lakierowanej samochodu, połączeń i stanu przewodów gumowych, szczególnie w przestrzeni silnikowej w obszarach podwyższonej temperatury. Należy zwrócić uwagę na okolice wlewu paliwa i usuwać pozostałości paliwa. Stan lakieru w okolicy wlewu po 5-letniej eksploatacji pokazuje fot. 2. Zgromadzone i niezauważone pod warstwą naklejonej reklamy paliwo spenetrowało miejscowo lakier.

Tabela 3

Wyniki badań składu paliwa w różnych miejscach poboru paliwa

Miejsce poboru próbki	Zawartość metali [ppm]					Udział fazy [%]
	ołów Pb	kadm Cd	nikiel Ni	mangan Mn	chrom Cr	
Beczka	<0,1	1,6	1,4	0,15	<0,1	–
Kanister	3,3	4,2	1,9	0,20	<0,1	–
Filtr paliwa						
— warstwa paliwowa	10,7	1,6	1,5	0,20	< 0,1	69,48
— osad międzyfazowy	32585	111	116	195	0,2	0,06
— faza wodna	584	22,1	0,5	7,5	< 0,1	30,46



Fot. 2. Stan lakieru przy wlewie paliwa

Obserwuje się także pocenie przewodów gumowych, miejscowe mikro-pęknięcia. Nie stwierdzono jednak ani jednego przypadku pęknięcia przewodu w trakcie eksploatacji, a zakwestionowane przewody były wymieniane. Pewne problemy sprawiała także gumowa zaślepka na ostatnim króćcu przelewowym wtryskiwacza, która twardniała i kilkakrotnie była wymieniana. Po zmianie kierunku przepływu paliwa nadmiarowego w odwrotnym kierunku, gdzie zaślepka powędrowała na I cylinder problem wyeliminowano, a stan zaślepki łatwo obserwować (problem istnieje także w silnikach napędzanych olejem napędowym). Ogólnie — materiał gumy sprawdzany wg wymagań PN-74/C-04236 ocenia się zgodnie z nomenklaturą normy jako dobry (tj. w granicach dobrej odporności).

Te niedogodności eksploatacyjne nie zmieniły jednak faktu bezawaryjnej jazdy samochodu przez 170 000 km. Eksploatacyjne zużycie paliwa według kart drogowych wahało się w zakresie 5,9–9,8 l/100 km paliwa rzepakowego przy jeździe mieszanej szosa – miasto, praktycznie średnio około 7,3 l/100 km przy stałe obciążonym pasażerami samochodem. Własności zmierzonego eksploatacyjnego zużycia paliwa i dynamicznych własności samochodu porównawczo z różnymi paliwami podano w tabeli 4.

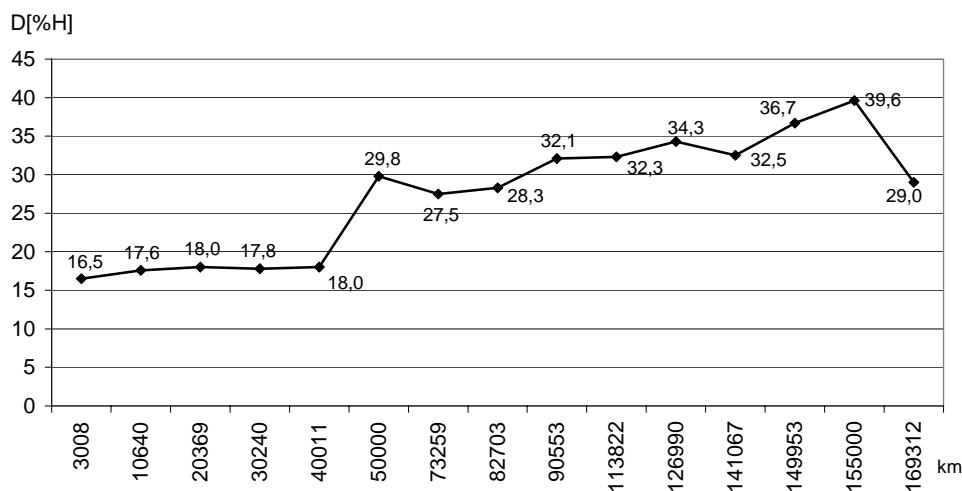


Tabela 4

Wyniki badań eksploatacyjnych samochodu „Polonez Caro Diesel 1,9 l”

Parametr	Paliwo rzepakowe	Olej napędowy
Zużycie paliwa [l/100km] przy prędkości:		
— 70 km/h	4,72	4,11
— 90 km/h	5,70	5,03
— 120 km/h	8,90	7,78
— jazda miejska wg ECE R15	7,51	6,38
Przyspieszenia [sek.]:		
— 0–100 km/h	22,03	20,21
— 30–100 km/h [III bieg]	23,27	22,29

Toksyczność spalin silnika zasilanego paliwem rzepakowym sprawdzona na początku prób na stanowisku hamownianym według ECE Reg. 49 była niższa w stosunku do toksyczności z paliwem standardowym dla CO — 44%, HC — 21%, NO<sub>x</sub> zwiększała się o 2%, cząstki stałe zmniejszyły się wg obliczeń o 68%. Według ECE Reg. 15 zawartość CO była niższa o 10%, a HC + NO<sub>x</sub> wzrosła w granicach błędu pomiarów przy ogólnym zapasie do ograniczeń regulaminowych rzędu 70% dla CO i 90% dla HC + NO<sub>x</sub>. W trakcie badań drogowych sprawdzano zadymienie spalin według ECE Reg. 24. Wartość zadymienia cały czas była niższa niż zadymienie na nowym silniku zasilanym olejem napędowym, nie przekraczając limitu zadymienia. Wykres zmian zadymienia w funkcji przebiegu samochodu przedstawia rysunek 1.



Rys. 1. Przebieg zadymienia spalin D[%H] wg ECE Reg. 24 w trakcie eksploatacji do 170 000 km. (Uwaga: Wg rozporządzenia nr 557 Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej dopuszczalna wartość zadymienia nie powinna przekraczać 2,5 m<sup>-1</sup>, tj. 65% H)

Skokowy spadek zadymienia związany jest z wymianą końcówek rozpylaczy, które przekroczyły okres wymiany zalecany przez producenta silnika o 55 000 km. Stan rozpylaczy pracujących przez 155 000 km na paliwie rzepakowym wskazywał na naturalne zużycie, co potwierdziły pomiary mikrometryczne stożka w korpusie i na igle rozpylacza. Charakterystyki wypływu nie różniły się zasadniczo od charakterystyk wypływu nowych rozpylaczy, a szczelność na przewodzeniu zbliżona była do dopuszczalnej dolnej granicy szczelności. Szczelność dynamiczna wykazywała podciekanie, choć optycznie stan iglic wskazywał na wysoką ich jakość, brak śladów zużycia i wysoką czystość. Spowodowane to było zakoksoowaniem przy otworze czopika, normalnym po tak długiej eksploatacji i zdecydowało o decyzji wymiany rozpylaczy, ponieważ pojawiały się charakterystyczne sygnały dźwiękowe pracy rozpylacza na biegu jałowym, szczególnie przy zimnym silniku. Po wymianie rozpylaczy próby były kontynuowane. Nie występowały żadne problemy ze smarowaniem silnika, dopuszczano się nawet wydłużenie okresu wymiany oleju smarnego.



Fot. 3. Stan rozpylaczy po 155 000 km.

## Biopaliwa w lotnictwie

Informacje o projektach zastosowania różnych biopaliw jako źródła zasilania w lotniczych silnikach pochodzą głównie z USA, gdzie już w latach osiemdziesiątych wprowadzano etanol do zasilania silników tłokowych. Wówczas samolot Bellanca 8KCAB Decatlon używając etanolu z 10% zawartością wody wykonał pierwszy transkontynentalny lot do Brazylii. W Centrum Rozwoju Lotniczych Paliw Odnawialnych Uniwersytetu Baylor, dokonano następnie po 13-letnim programie badawczym, modyfikacji silnika Lycoming O-235 do zasilania alkoholem etylowym E95 z 5% zawartością benzyny spełniającego wymagania zgodne z procedurami FAA. Do certyfikacji z tym silnikiem przygotowano samolot Cessna 152. Sprawdzano także mieszanki 10% etanolu i benzyny lotniczej na 5 samolotach. Wymagania certyfikacyjne zawarte są w The

Federal Air Regulations Part 33. Jakby podkreślając użycie biopaliw w lotnictwie dokonano pierwszego lotu na etanolu przez Atlantyk zaczynając w Waco w Texas a kończąc w Paryżu (specjalnie przygotowany samolot prototypowy kompozytowy „Velocity” – silnik Lycoming HIO-360). Koszt paliwa przy przelocie przez Atlantyk wyniósł 160 dolarów. Gdyby użyto benzyny koszt wyniósł by 230 dolarów! (Wersje tego samego silnika, ale na klasyczne paliwo lotnicze stosujemy w kompozytowym samolocie I-23 Menager opracowanym i badanym aktualnie w Instytucie Lotnictwa fot. 4.)

W lotniczych silnikach turbinowych badano także biopaliwa z soi w mieszankach 10 i 20% z lotniczym paliwem typu Jet A. W I fazie wykonano badania własności paliw pod kątem zastosowania w lotnictwie, a następnie w II fazie badań używano w locie silników Garrett TPE 331 3u 303V. Wyniki badań były lepsze niż oczekiwano, odpowiednie raporty obecnie są możliwe do uzyskania. Przygotowano także mieszanki uzupełniane o etery ETBE. Specjalny program certyfikacyjny prowadzony jest na samolocie Beachcraft King Air. Monitorowane są na jednym z dwóch silników samolotu zmiany toksyczności odpowiednim wyposażeniem badawczym. W efekcie Baylor University podaje, że jeśli zastosować by 20% mieszanki USA zaoszczędziło by to około 12.26 miliarda litrów paliwa rocznie. Podobne prace prowadzone w South Dakota State University, gdzie mieszanki zawierają 80–90% etanolu, 10–20% pentanu oraz około 0,5–1% estrów. Paliwo to oznaczone jako AGE 85 reklamowane jest jako zamiennik paliwa Avgas 100LL.

Jednym z ciekawych sposobów wykorzystania etanolu w silnikach lotniczych Diesel'a napędzających bezpilotowe samoloty wywiadowcze mogą być mieszanki typu „OxyDiesel” zawierające dodatek 10–20% etanolu do oleju napędowego uzupełnione specjalnym dodatkiem uszlachetniającym mieszanie i poprawę liczby oktanowej. Jak obserwuje się, prace nad zastosowaniem takich mieszanek prowadzi np. komercyjna firma amerykańska „Pure Energy”, która pracuje także nad paliwami na bazie odpadów celulozowych tzw. P-fuel. Paliwo to zawiera 45–50% etanolu, 15–20% metyltetrahydrofuranu (MTHF) i 30–35% pentanu (C5-C9 NLG). Z obserwacji Instytutu Lotnictwa wynika, że tego typu mieszanki: estry wyższych kwasów tłuszczowych olejów z pochodzących z różnych roślin oleistych + etanol w różnych proporcjach z olejem napędowym nie rozwarstwiają się i mogą być stosowane zamiast oleju napędowego. Instytut Lotnictwa posiada zgłoszenie patentowe nr P315089 na paliwo złożone z estrów metylowych, alkoholu metylowego i eteru glikolowego z odpowiednimi dodatkami uszlachetniającymi np. Unocal 76. Posiadamy także informacje o uzyskanych w Polsce próbkach paliw tzw. recydingowych lub być może dodatkach do paliw uzyskiwanych z odpadowych tworzyw sztucznych poliolefinowych, opon samochodowych lub olejach odpadowych o indeksie cetanowym 43 do 56 przy gęstości 0,785–0,830 g/cm<sup>3</sup>. Nie bez znaczenia jest także poszukiwanie nowych źródeł roślin do celów paliwowych.

W Polsce próby zastosowania biopaliwa w lotniczych silnikach turbinowych nie otrzymały akceptacji KBN, mimo złożenia oddzielnego projektu badawczego (1995 r.) przez Instytut Lotnictwa. Wykonano wstępne próby z paliwem będącym mieszanką oleju napędowego (ON — jako substytut paliwa lotniczego Jet A1) — 75%, paliwa rzepakowego — 20%, etanolu — 5%. Prace badawcze wykonano na turbodoładowanym silniku trakcyjnym. Wyniki podano w tabeli 5.

Tabela 5

Zmiana osiągnięć silnika na mieszance trójskładnikowej

Parametr	Różnice w osiągnięciach podane w % w stosunku do 100% ON
Moc silnika	-0,4
Moment maksymalny silnika	-2,3
Zadymienie przy mocy/przy momencie maksymalnym	-20/-42
Emisja wg Reg. ECE 49	
— CO	-11
— HC	-15
— NOx	-7

## **Uniwersalne paliwo dla lotnictwa i wozów bojowych**

W sprzęcie lotniczym produkowanym i eksploatowanym w krajach NATO stosowane jest paliwo F-34 wg kodu NATO, będące odpowiednikiem paliwa Jet A-1 (Kod NATO F 35), produkowanego w Polsce w PKN „ORLEN” i stosowanego w Wojsku Polskim. PKN „ORLEN” przygotowuje się do produkcji paliwa F-34, ulepszonego między innymi przez dodatek poprawiający smarność, zapobiegający krystalizacji wody. W wielu armiach zachodnich prowadzone są prace nad uniwersalnym paliwem zarówno dla silników Diesel’a jak i silników turbinowych. Siły zbrojne USA przeprowadziły standaryzację paliwa lotniczego JP-8, opartego o elementy biopaliwowe w zastosowaniach naziemnych do zasilania stacjonarnych turbin gazowych i silników Diesla. Głównymi zaletami są poprawiona sprawność cieplna, poprawa trwałość elementów silników, zmniejszenie zanieczyszczenia osadami wtryskiwaczy i filtrów, obniżenie zadymienia i toksyczności przy zmniejszonej agresywności oddziaływania na organizm ludzki. Jego ulepszoną wersją jest paliwo JP-8 +100 o poprawionych właściwościach myjąco-chłodzących rozpylacze silników, co dodatkowo zabezpiecza je przed zapiekaniem. Raporty dotyczące tych paliw są nieosiągalne. Instytut Lotnictwa jest gotowy do przeprowadzania prób takich paliw posiadając zarówno hamownie silników turbinowych jak i silników Diesel’a. Wstępne rozpoznanie w tym kierunku już uczyniono.



Fot. 4. I-23 Manager



Fot. 5. Poduszkowiec PRP-560

---

## Wnioski

Redukcja zależności każdego kraju od importowanych źródeł energii jest podstawową kwestią dla stabilności narodowej, zarówno w sferze energetycznej jak społecznej. Zakładając, że Polska może obsiać około 2–3 mln ha pod biopaliwa, to w uproszczonym przeliczeniu na paliwo do silników Diesel'a lub lotniczych silników turbinowych (1–2 t paliwa rzepakowego/ha) i wydajności etanolu (ze zboża — 2 t etanolu/ha, ze specjalnych gatunków pszenżyta lub buraków — 5 t etanolu/ha) można uzyskać liczące się w bilansie paliwowym tony własnego paliwa. Należy brać także pod uwagę trudne obecnie do oszacowania wielkości paliw recyklingowych i syntetycznych uzyskiwanych z odpadów lub innych surowców.

Mając na względzie strategiczne interesy państwa polskiego proponujemy uaktywnić wspólne działania w dziedzinie biopaliw, zmierzające do upowszechnienia problemu biopaliw łącznie z paliwami lotniczymi poprzez opracowanie strategicznego planu biopaliw, opierając się o doświadczenia krajów europejskich oraz USA i Kanady, w skali odpowiadającej interesom naszej niezależności energetycznej.

Na marginesie zagadnienia informujemy, że w ramach PR5 Instytut Lotnictwa zaproponował wprowadzenie problemu paliw alternatywnych do programu GROWTH KA4 „New perspectives in aeronautics” w projekcie bezpilotowych samolotów cywilnych „CAPECON” przyjęte obecnie jako jedno z zagadnień do wspólnych europejskich badań oraz widzi możliwość zastosowania biopaliw w przygotowywanych przez siebie konstrukcjach: nowoczesnym kompozytowym samolocie I-23 „MANAGER” czy poduszkowcu PRP-560.

## Conclusion

---

Reduction of dependence of every country on imported sources of petrol is basic matter for national stability both in energetic and social sphere. Poland can use about 2–3 million ha to produce biofuels for Diesel (or turbine) engines in quantity of 1–2 t rapeseed fuel/ha and for Otto engines in quantity of 2 (from cereals) — 5 t (from special sorts of cereals or beets) of ethanol/ha. It is possible to obtain substantial amount of own fuel. The amount of fuel obtained from waste or other raw materials, which is now difficult to estimate, should be taken into consideration.

Having in mind strategic increasing of biofuels in Poland we propose to activate national strategic plan of biofuels including aviation fuels drawing on positive experiences of some European countries, the USA and Canada. We inform, that in European program RTD FPS, Institute of Aviation proposed introduction of the problem of alternative fuels into key action GROWTH KA4 "New perspectives in aeronautics" and sees possibility of the use of biofuels in own modern composite airplane I-23 "MANAGER" and hovercraft PRP 560.

## Literatura

---

- Ballal D.R. 1993. Jet Fuel Technology and Ground Applications. Baylor University.
- Berg Ch. 1998. World Ethanol Production and Trade – A Review. II Edition of Worldwide Directory of Distilleries The Int. Molassas and Alcohol Report.
- Conneman J., Fisher J. 1999. Biodiesel in Europe 2000. Materiały konferencyjne, Stuttgart 17.05.1999, <http://www.biodiesel.de/img99/fig13.htm>.
- Development of Bio-Based Fuel for Turbine Engines. 1998, Baylor University.
- 1st European Motor Biofuel Forum. 1998, Proceedings. Tours.
- Helder D. Introductory briefing. <http://www.engineering.sdstate.edu/~ethanol/>.
- Henegan S.P. i in. 1998. JP-8+100: The Development of High Thermal Stability Jet Fuel. Baylor University.
- Jarosiński J., Łapucha R., Mazurkiewicz J. 1994. Application of Catalytic Combustion to IC Engine with Lean Air-Fuel Engine. 25 Symposium on Combustion, Irvine, Book of Abstracts, California p. 34.
- Loop D., Stanley D. 1995. Soy-Diesel blends Use in Aviation Turbine Engines ATD, Purdue University.
- Nowe rośliny uprawne. 1996, Wyd. SGGW Warszawa.
- 2nd European Motor Biofuel Forum. 1996. Proceedings. Joanneum Research, Gratz.
- Pałowski Z. 1999. Zastosowanie paliwa rzepakowego w gospodarce narodowej. Prace Instytutu Lotnictwa.

- Pagowski Z., Ekert K., Kalina P., Szafruga J., Adamczyk A. 1992. An investigation of the alternative fuel Azona used in agricultural high speed-turbocharged Diesel engine CIMAC Publications, Warszawa, 188-199.
- Pagowski Z., Krzyżanowski R., Wiślicki B., Zawadzki A. 1993. Proecological fuels for Diesel engines. ISATA 26th Proceedings, Aachen, 89-97.
- Pagowski Z., Snopkiewicz K. 1993. Comparison of vegetable fuels used in Diesel engines. ISATA 26th Proceedings, Aachen, 299-307.
- Pagowski Z., Jarosiński J., Adamczyk A., Wiślicki B. 1993. An investigation of the alternative fuels used in agricultural Diesel engines. APISCEU Proceedings, Pekin, 284-289.
- Pagowski Z., Wiślicki B., Cizek Z., Zdrodowska B., Jędrzejewski G. 1994. Badania i eksploatacja polskich paliw silnikowych. EKODIESEL 94. Wyd. SGGW.
- Pagowski Z., Oleksy S., Wiślicki B., Szczeciński J., Zdrodowska B. 1994. An investigation of Polish biofuel used in high speed car engines. Avignon, Actes INRETS No 37: 247-253.
- Shauck M.E., Zanin M.G. 1991. Certification of Aircraft Engine on Ethanol Fuel. Proceedings of VIII Symposium on Alcohole Fuels Technology, Florence, Nov.
- Shauck M.E., Zanin M.G. 1992. Ethanol in reprecating aircraft engines. Proceedings of 1992 AIAA/FAA Joint Symp. Wichita, March.
- Shauck M.E., Zanin M.G. 1991. The first Transatlantic Flight on Ethanol Fuel. Proceedings of VIII Symposium on Alcohole Fues Technology, Florence, Nov.
- Soy-Diesel blends Use in Aviation Turbine Engines. 1995, Jun.