

Jerzy MERKISZ¹
Jarosław MARKOWSKI²
Jacek PIELECHA³
Tadeusz MIKUTEL⁴
Robert KOZŁOWSKI⁵

**BADANIA EMISJI ZWIĄZKÓW
SZKODLIWYCH SPALIN TURBINOWEGO SILNIKA ŚMIGŁOWEGO
TWD-10 B/PZL-10S PODCZAS PRZEDSTARTOWEJ PRÓBY SILNIKÓW
SAMOLOTU PZL M28B BRYZA**

W artykule przedstawiono wyniki badań emisji związków szkodliwych spalin silnika TWD-10B/PZL-10S będącego źródłem napędu samolotu PZL M28 „Bryza”, przeprowadzonych w warunkach przedstartowej próby silników realizowanej na płycie lotniska. W artykule przedstawiono wyniki badań i ich analizę, pozwalającą na dokonanie oceny możliwości wykorzystania tego typu testów stacjonarnych do oceny emisji związków toksycznych spalin z turbinowych silników śmigłowych.

**EMISSION TESTS OF THE TWD-10 B/PZL-10S TURBOPROP ENGINE
DURING PRESTART ENGINES TEST OF THE PZL M28B BRYZA AIRCRAFT**

The paper presents the results of exhaust gas emissions research for the PZL M28 “Bryza” aircraft engine, type TWD-10 B/PZL-10S, conducted in the prestart engines test on the apron. The paper presents the measurements results and their analyses helping to assess if it is possible to use these kind of stationary tests in the toxic emission compounds evaluation from turboprop engines.

¹ Poznań University of Technology, Faculty of Working Machines and Transportation, POLAND, Poznan 60-965, Piotrowo 3. Phone: + 48 61 665-22-07, Fax: + 48 61 665-22-04, E-mail: jerzy.merkisz@put.poznan.pl

² Poznań University of Technology, Faculty of Working Machines and Transportation, POLAND, Poznan 60-965, Piotrowo 3. Phone: + 48 61 665-27-05, Fax: + 48 61 665-22-04, E-mail: jaroslaw.markowski@put.poznan.pl

³ Poznań University of Technology, Faculty of Working Machines and Transportation, POLAND, Poznan 60-965, Piotrowo 3. Phone: + 48 61 665-21-18, Fax: + 48 61 665-22-04, E-mail: jacek.pielecha@put.poznan.pl

⁴ 3. Skrzydło Lotnictwa Transportowego w Powidzu, POLAND, Powidz 62-430, Witkowska 8. Phone: + 48 63 277-46-00, Fax: + 48 63 277-46-00, E-mail: tadeusz.mikutel@wp.pl

⁵ 3. Skrzydło Lotnictwa Transportowego w Powidzu, POLAND, Powidz 62-430, Witkowska 8. Phone: + 48 63 277-47-78, Fax: + 48 63 277-46-00, E-mail: robko74@tlen.pl

1. WPROWADZENIE

Transport jako jedna z podstawowych dziedzin gospodarczych charakteryzuje się ciągłym rozwojem. Jest on ściśle związany z podstawowymi czynnikami fizycznymi i ze względu na nie podlega podstawowemu podziałowi na transport lądowy, wodny i powietrzny. W ostatnim czasie dużą dynamikę rozwoju wykazuje transport powietrzny. Zapotrzebowanie na ten rodzaj transportu przyczynia się do wzrostu liczby środków transportu powietrznego. Przewiduje się, że w ciągu 20 lat liczba samolotów pasażerskich, o liczbie pasażerów powyżej 90 osób, wzrośnie o 45 tys. sztuk wyprodukowanych łącznie przez tylko dwie firmy Airbus i Boeing [2]. Analizy dotyczące rozwoju Polskiego sektora transportu lotniczego wskazują na zapotrzebowanie na mniejsze statki powietrzne, których zadaniem podstawowym będzie przewóz pasażerów i towarów z portów regionalnych do portów międzynarodowych. Ze względu na specyfikę tego sektora najbardziej pożądanymi pod względem ekonomii są mniejsze samoloty, których źródło napędu stanowi silnik turbośmigłowy.

Rozwój transportu lotniczego w Polsce następuje również w zakresie lotnictwa wojskowego. Z chwilą wstąpienia Polski w struktury NATO nastąpiła reorganizacja Polskiego lotnictwa wojskowego. Rozwój transportowego lotnictwa wojskowego stymulowany jest odmiennymi mechanizmami i jest ukierunkowany na zapewnienie gotowości do realizacji zadań związanych z działalnością w strukturze NATO. Większość zadań transportowych lotnictwa wojskowego wiąże się z działalnością Polskich Sił Zbrojnych poza granicami kraju. Powoduje to zapotrzebowanie na środki transportu lotniczego charakteryzujące się możliwościami przemieszczania dużej masy ładunku na możliwie dalekie odległości. Taka specyfika zapotrzebowania zbliża transportowe lotnictwo wojskowe do lotnictwa cywilnego. Wzajemne relacje pomiędzy tymi dwoma parametrami wskazują na celowe wykorzystanie samolotów transportowych, których źródłem napędu są turbinowe silniki śmigłowe.

Zapotrzebowanie na transport statkami powietrznymi przekłada się niemal bezpośrednio na wzrost ilości samolotów. To z kolei nie jest bez znaczenia dla stanu środowiska naturalnego. W dalszym ciągu poważnym zagrożeniem jest emisja dwutlenku węgla oraz cząstek stałych – stanowiąca barierę rozwoju współczesnych silników spalinowych. Obecne przepisy dotyczące wpływu środków transportu lotniczego na środowisko wprowadzone przez EPA (*Environmental Protection Agency* – Agencja Ochrony Środowiska), ICAO (*International Civil Aviation Organization* – Organizacja Międzynarodowego Lotnictwa Cywilnego) zawarte w JAR 34 (*Joint Aviation Requirements* – przepisy określające normy emisji spalin), FAR 34 (*Fuel Venting and Exhaust Emission Requirements for Turbine Engine Powered Airplanes* – przepisy określające normy emisji spalin), dotyczą głównie emisji hałasu i związków szkodliwych spalin ze szczególnym uwzględnieniem tlenków azotu. Dotyczą one silników przepływowych i zawierają procedury testów stacjonarnych, w zależności od warunków pracy silnika [1].

Realizacja badań emisji związków szkodliwych spalin silników lotniczych w testach stacjonarnych może być wykorzystana do budowy algorytmów pozwalających ocenić rzeczywistą emisyjność statków powietrznych, a tym samym może przyczynić się do dalszego rozwoju ich napędów.

2. METODYKA BADAŃ

2.1 Obiekt badań

Badania emisji związków szkodliwych zawartych w spalinach silnika lotniczego wykonano z wykorzystaniem samolotu PZL M28 „Bryza”, którego zespół napędowy stanowią dwa silniki turbośmigłowe, dwuwirnikowe, ze sprężarką turbinową i swobodną turbiną śmigła TWD-10 B/PZL-10S wraz ze śmigłem HC-B5MP-3D/M 10876 ANSK (rys. 1). Parametry zespołu napędowego PZL M28 „Bryza” przedstawiono w tabeli 1. Jednym z elementów wyposażenia badanego samolotu jest rejestrator lotu, który rejestruje również parametry eksploatacyjne silnika.



Rys. 1. Samolot PZL M28 „Bryza” z silnikami TWD-10 B/PZL-10S

Tab. 1. Podstawowe dane zespołu napędowego PZL M28 „Bryza” [4]

| | |
|---|--|
| Silnik | TWD-10 B/PZL-10S |
| Moc na startowych parametrach pracy | 705 kW (960 KM) |
| Masa silnika | 230 ^{+2%} kg |
| Śmigło Hartzell | HC-B5MP-3D/M 10876 ANSK |
| Typ | ciągnące o zmiennym skoku z możliwością przejścia na rewers i ustawienia w chorągiewkę |
| Kierunek obrotów | Prawy |
| Liczba łopat | 5 |
| Kąt ustawienia łopat | |
| chorągiewka | 79° |
| max rewers | -14° |
| Maksymalna prędkość obrotowa śmigła | 1700 obr/min (93,1% $n_{\text{śm}}$) |
| Prędkość obrotowa śmigła | |
| w chorągiewce | max 400 obr/min (21,9% $n_{\text{śm}}$) |
| w rewersie | 1650 obr/min (90,3% $n_{\text{śm}}$) |
| Zabroniony przedział prędkości na ziemi | 400÷1400 obr/min (21,9÷76,7% $n_{\text{śm}}$) |

2.2 Aparatura pomiarowa

Celem przeprowadzonych badań była ocena emisji związków szkodliwych spalin podczas postoju samolotu na płycie lotniska w warunkach możliwie zbliżonych do rzeczywistych warunków eksploatacyjnych samolotu. Do pomiarów stężenia związków toksycznych wykorzystano mobilny analizator do badań toksyczności SEMTECH DS firmy SENSOR (rys. 2).



Rys. 2. Widok analizatora spalin

Analizator umożliwił pomiar stężenia tlenku węgla, dwutlenku węgla, węglowodorów, tlenków azotu oraz tlenu. Gazy spalinowe wprowadzane do analizatora za pomocą sondy pomiarowej utrzymującej temperaturę 191°C, następnie są filtrowane z cząstek stałych (w przypadku silników ZS) i następuje pomiar stężenia węglowodorów w analizatorze płomieniowo-jonizacyjnym. Następnie spaliny są schładzane do temperatury 4°C i następuje kolejno pomiar stężenia NO_x , CO, CO_2 oraz tlenu [3].

Na potrzeby pomiarów emisji związków szkodliwych spalin dokonano montażu dodatkowych wsporników przy dyszy wylotowej spalin silnika niezbędnych do zamocowania sondy pomiarowej. Przewody doprowadzające spaliny do analizatora zamocowano do konstrukcji płatowca samolotu, a analizator umieszczono we wnętrzu samolotu przy drzwiach luku bagażowego (rys. 3).



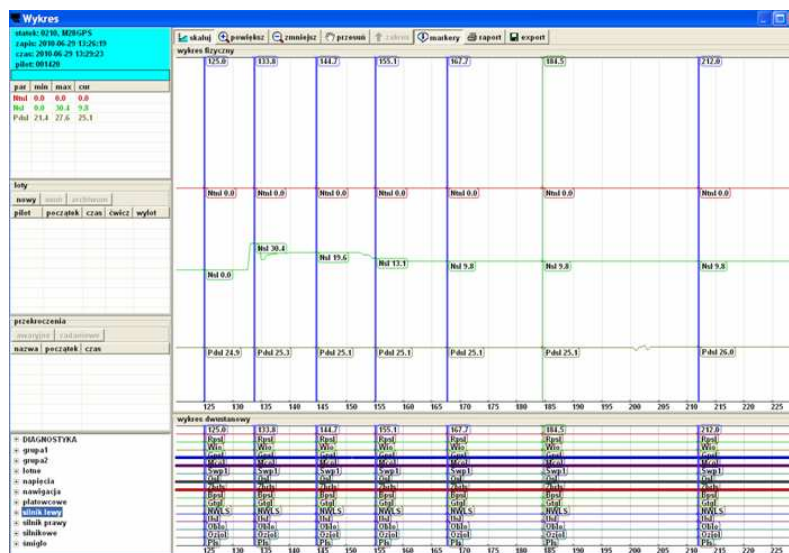
Rys. 3. Miejsce zamocowania sondy poboru spalin i umieszczenia analizatora

2.3 Cel badań i jego realizacja

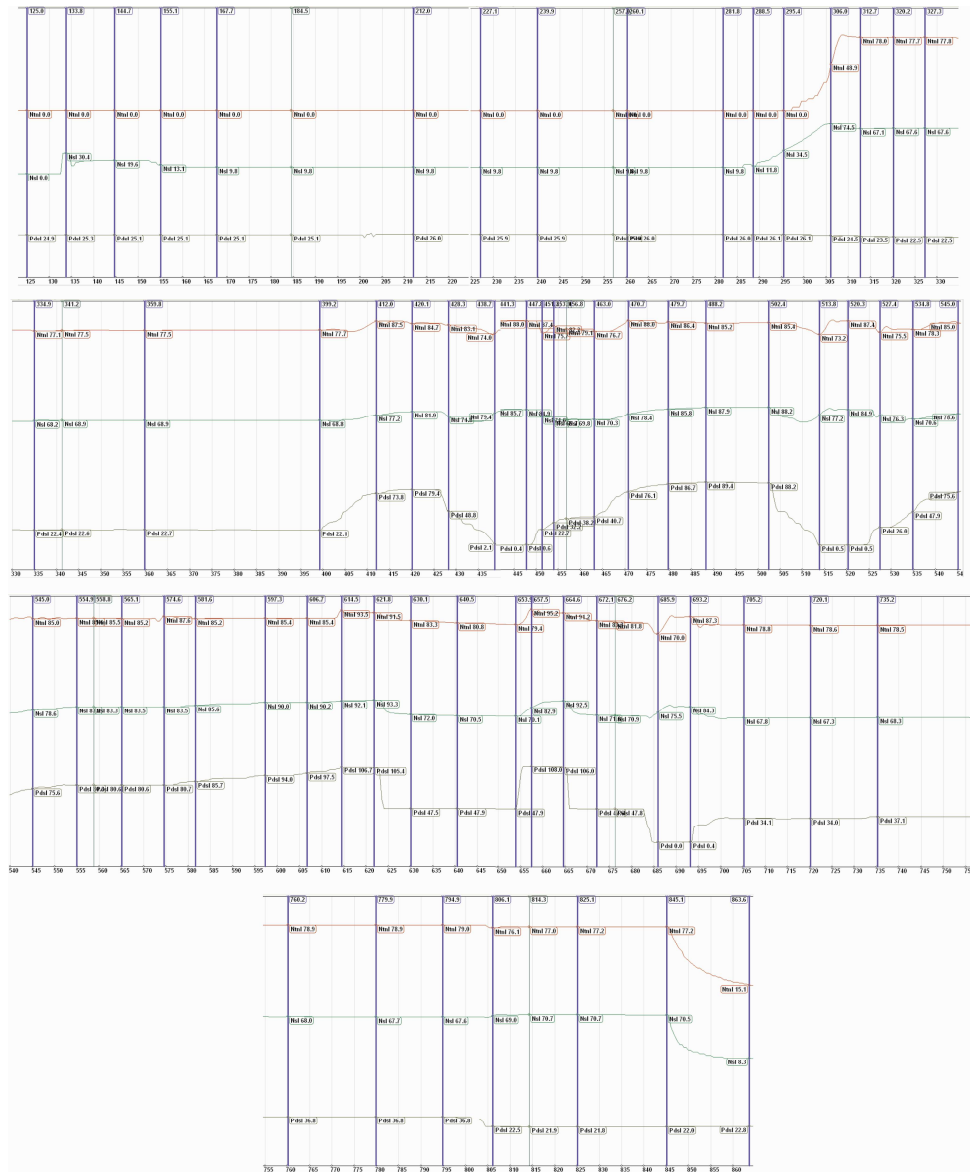
Celem przeprowadzonych badań było dokonanie pomiaru emisji związków szkodliwych spalin z silnika turbośmigłowego podczas przedstartowej próby silnika przeprowadzonej na statku powietrznym znajdującym się na płycie lotniska. W trakcie próby silnika dokonano ciągłego pomiaru stężeń związków tlenu węgla, dwutlenku węgla, węglowodorów, tlenków azotu. Zdecydowano się na pomiary podczas przedstartowej próby silnika, ponieważ zawiera ona w swej procedurze obciążenia silnika, odpowiadające obciążeniom możliwym do rzeczywistych warunków eksploatacyjnych. Próba przedstartowa silnika jest realizowana zgodnie z instrukcją zalecaną przez producenta danego zespołu napędowego. Przebieg próby i wartości poszczególnych parametrów eksploatacyjnych silnika były rejestrowane przez rejestrator będący na wyposażeniu badanego statku powietrznego.

3. WYNIKI POMIARÓW

Zarejestrowano dane eksploatacyjne zespołu napędowego w funkcji czasu, oraz dokonano ciągłego pomiaru stężeń wybranych związków szkodliwych spalin. Dzięki temu można było zsynchronizować poszczególne fazy próby silnika z pomiarami emisji poszczególnych związków. Zarejestrowane dane eksploatacyjne silnika poddano analizie w systemie deszyfracji parametrów lotu (rys. 4). Obraz zmian parametrów przedstawiono na wykresach zamieszczonych na rysunku 5. Przeprowadzona analiza zmian parametrów odniesiona do procedury realizacji przedstartowej próby silnika pozwoliła na wyodrębnienie poszczególnych stanów obciążenia silnika.



Rys. 4. Przykładowa karta systemu deszyfracji lotu z wyszczególnionymi chwilowymi wartościami parametrów eksploatacyjnych silnika

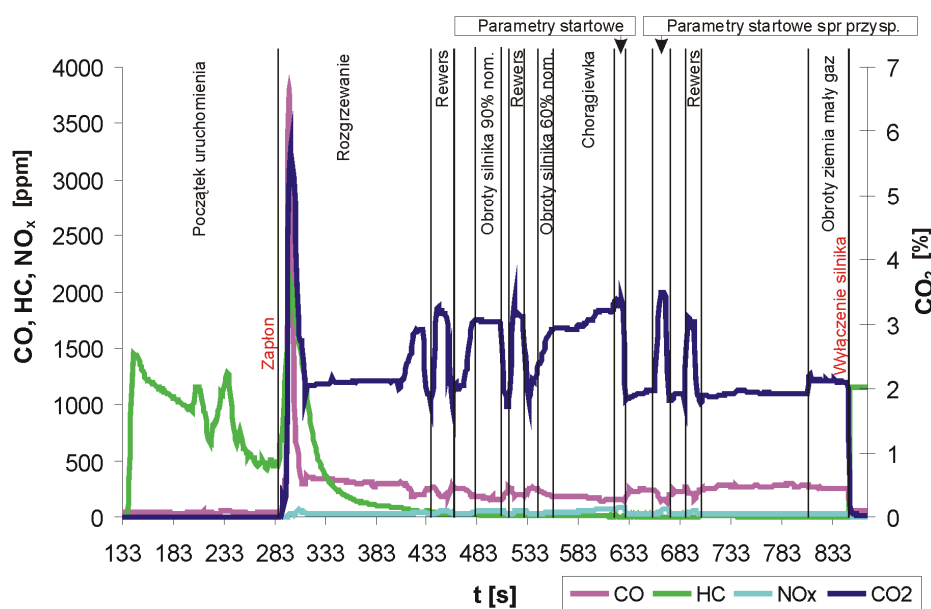


Rys. 5. Przebieg zmian wartości parametrów eksploatacyjnych silnika w funkcji czasu podczas przebiegu próby przedstartowej silnika TWD-10 B/PZL-10S

Wynik takiego zestawienia można zobrazować wykresnie (rys. 6). Na wykresie wyszczególniono pionowymi liniami poszczególne fazy próby przedstartowej silnika. Charakterystyczny dla silników turbinowych jest początek uruchomienia. W tej części próby widoczne jest tylko wysokie stężenie węglowodorów, które jest bezpośrednio

związane z dostarczeniem paliwa do komory spalania. Następnie z chwilą inicjacji zapłonu w komorze spalania gwałtownie rosną stężenia związków CO, CO₂ a także HC. Wzrost tych związków jest konsekwencją procesu spalania, który początkowo jest mało efektywny. Stężenia tych związków szybko maleją w miarę rozgrzewania się silnika.

Rozgrzewanie się silnika przyczynia się do wzrostu stężenia NO_x w spalinach. Podczas próby nie odnotowano stężeń NO_x większych niż 80 ppm, a w około 70% czasu trwania próby wartość stężenia wynosiła około 30 ppm. Wartości stężeń CO, HC w dalszej części próby silnika charakteryzują się małą dynamiką zmian i oscylują w zakresie wartości CO – 40 ppm, HC – 15 ppm. Natomiast wartości stężenia CO₂ związane są z obciążeniem silnika. Wartości stężenia tego związku utrzymują się поблизу w dwóch wartości CO₂ – 2% silnik bez obciążenia, CO₂ – 3,5% silnik z obciążeniem. Tak niskie stężenia tego związku w spalinach związane są z dużym współczynnikiem nadmiaru powietrza w komorze spalania.



Rys. 6. Wyniki pomiarów stężenia związków szkodliwych spalin w funkcji czasu podczas przebiegu próby przedstartowej silnika TWD-10 B/PZL-10S

4. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania stanowią początkowy fragment dalszej analizy, zmierzającej do podjęcia próby oszacowania emisji związków toksycznych spalin silnika turbośmigłowego w rzeczywistych warunkach eksploatacyjnych samolotu. Uzyskane informacje mogą być wykorzystane do weryfikacji i opracowania procedur badawczych. Przeprowadzone badania należy traktować jako wstępne o charakterze poznawczym.

Analiza uzyskanych wyników wskazała na istotny problem zwiększonego stężenia tlenu węgla oraz węglowodorów w początkowym zakresie pracy silnika zapłon i rozgrzewanie. Wyniki te należałoby skorelować z wynikami uzyskanymi dla tego samolotu tego samego typu, ale napędzanego silnikiem nowszej generacji.

Ostatecznie realizacja tego typu badań może przyczynić się do określenia uniwersalnych procedur badawczych określających emisyjność statków powietrznych i ich oddziaływanie na środowisko.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Kotlarz W., *Turbinowe zespoły napędowe źródłem skażeń powietrza na lotniskach wojskowych*, Wyższa Szkoła Oficerska Sił Powietrznych, Dęblin 2003.
- [2] Opinia Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego z dnia 28 lipca 2009 roku w sprawie „*Europejski sektor lotniczy: stan obecny i perspektywy*”.
- [3] Instrukcja analizatora spalin SEMTECH DS.
- [4] Instrukcja eksploatacyjna samolotu M28 „Bryza”.