

**Jerzy Merkisz, Jarosław Markowski, Jacek Pielecha**

Politechnika Poznańska  
Wydział Maszyn Roboczych i Transportu, Instytut Silników Spalinowych i Transportu  
60-965 Poznań, ul. Piotrowo 3  
e-mail: jerzy.merkisz@put.poznan.pl; jaroslaw.markowski@put.poznan.pl;  
Jacek.Pielecha@put.poznan.pl

**Tadeusz Mikutel, Robert Kozłowski**

3. Skrzydło Lotnictwa Transportowego w Powidzu  
62-430 Powidz, ul. Witkowska 8

## **BADANIA STĘŻEŃ ZWIĄZKÓW SZKODLIWYCH SPALIN TURBINOWEGO SILNIKA ŚMIGŁOWEGO W USTALONYCH WARUNKACH EKSPLOATACYJNYCH**

### **STRESZCZENIE**

W artykule przedstawiono wyniki badań emisji związków szkodliwych spalin silnika będącego źródłem napędu samolotu PZL M28 „Bryza”. Przeprowadzono je w warunkach próby silników na płycie lotniska. Następnie dokonano ich analizy, która pozwoliła na ocenę możliwości wykorzystania tego typu testów statycznych w pomiarach emisji związków toksycznych spalin z turbinowych silników śmigłowych.

Słowa kluczowe:

emisja, związki szkodliwe, turbinowy silnik śmigłowy.

### **WSTĘP**

Z chwilą wstąpienia Polski w struktury NATO nastąpiła reorganizacja polskiego lotnictwa wojskowego. Rozwój transportowego lotnictwa wojskowego stymulują odmiennie mechanizmy i jest on 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 lotniczy przekłada się niemal bezpośrednio na wzrost liczby 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) oraz ICAO (*International Civil Aviation Organization* — Organizacja Międzynarodowego Lotnictwa Cywilnego) odnoszą się głównie do 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 [3].

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.

## METODYKA BADAŃ

### Obiekt badań

Do badań emisji związków szkodliwych zawartych w spalinach silnika lotniczego wykorzystano samolot PZL M28 „Bryza”, którego zespół napędowy stanowi silnik turbośmigłowy dwuwirnikowy ze sprężarką turbinową i swobodną turbiną śmigła TWD-10 B/PZL-10S wraz ze śmigłem HC-B5MP-3D/M 10876 ANSK (fot. 1.). Parametry zespołu napędowego PZL M28 „Bryza” przedstawiono w tabeli 1.



Fot. 1. Silnik TWD-10 B/PZL-10S na samolocie PZL M28 „Bryza”

Źródło: zdjęcie wykonane przez autorów.

Tabela 1. Podstawowe dane zespołu napędowego PZL M28 „Bryza”

<b>Silnik</b>	TWD-10 B/PZL-10S
Moc na startowych parametrach pracy	705 kW (960 KM)
Masa silnika	230 <sup>+2%</sup> kg
<b>Śmigło Hartzell</b>	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°
maksymalny rewers	-14°
Maksymalna prędkość obrotowa śmigła	1700 obr/min (93,1% $n_{\dot{s}m}$ )
Prędkość obrotowa śmigła:	
chorągiewka	maks. 400 obr/min (21,9% $n_{\dot{s}m}$ )
rewers	1650 obr/min (90,3% $n_{\dot{s}m}$ )
Zabroniony przedział prędkości na ziemi	(400–1400) obr/min (21,9–76,7)% $n_{\dot{s}m}$

Źródło: Instrukcja eksploatacyjna samolotu M28 „Bryza”.

## Aparatura badawcza

Do pomiarów stężenia związków szkodliwych wykorzystano mobilny analizator do badań toksyczności SEMTECH DS firmy SENSOR (fot. 2.). Analizator ten umożliwiał pomiar stężenia tlenku węgla, dwutlenku węgla, węglowodorów, tlenków azotu oraz tlenu. Gazy spalinowe wprowadzane są 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 tlenków azotu, tlenku węgla, dwutlenku węgla oraz tlenu [1].



Fot. 2. Widok analizatora spalin

*Źródło: zdjęcie wykonane przez autorów.*

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, analizator zaś umieszczono we wnętrzu samolotu przy drzwiach luku bagażowego (fot. 3.).



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

Źródło: zdjęcie wykonane przez autorów.

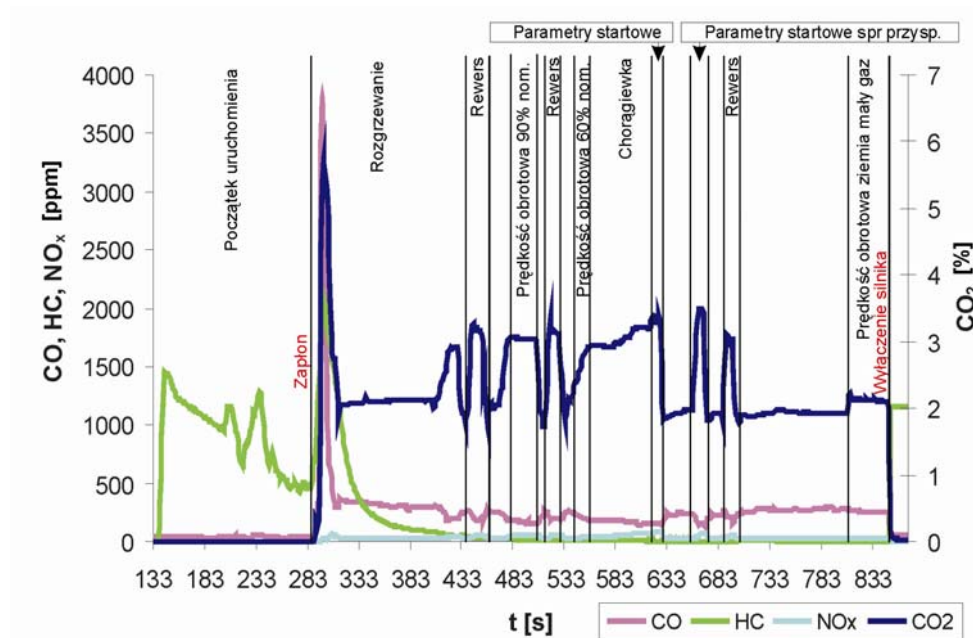
### **Cel badań i jego realizacja**

Celem przeprowadzonych badań było dokonanie pomiaru emisji związków szkodliwych spalin z silnika turbośmigłowego podczas przedstartowej próby silnika samolotu znajdującego się na płycie lotniska. W trakcie próby silnika dokonano ciągłego pomiaru stężeń związków tlenu węgla, dwutlenku węgla, węglowodorów i tlenków azotu. Zdecydowano się na pomiary podczas przedstartowej próby silnika, ponieważ zawiera ona w swej procedurze obciążenia silnika odpowiadające obciążeniom możliwie zbliżonym 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 znajdujący się na wyposażeniu badanego statku powietrznego.

### **WYNIKI POMIARÓW**

Zarejestrowano dane eksploatacyjne zespołu napędowego w dziedzinie czasu oraz dokonano ciągłego pomiaru stężeń wybranych związków szkodliwych spalin. Dzięki temu można było zsynchronizować poszczególne fazy próby silnika z pomiarami emisji poszczególnych związków. Wynik takiego zestawienia można zobrazować wykresie (rys. 1.). Na wykresie wyróżniono pionowymi liniami poszczególne fazy próby przedstartowej silnika. Charakterystyczny dla silników turbinowych jest początek uruchomienia. W tej części próby widoczne jest tylko

duże stężenie węglowodorów, bezpośrednio związane z dostarczeniem paliwa do komory spalania. Następnie z chwilą inicjacji zapłonu w komorze spalania gwałtownie rosną stężenia związków tlenku węgla, dwutlenku węgla, a także węglowodorów. Wzrost stężeń tych związków jest konsekwencją procesu spalania, który początkowo jest mało efektywny. Stężenia tych związków szybko maleją w miarę rozgrzewania się silnika.



Rys. 1. Wyniki pomiarów stężenia związków szkodliwych spalin w dziedzinie czasu podczas przebiegu próby przedstartowej silnika TWD-10 B/PZL-10S

Źródło: opracowanie własne.

Rozgrzewanie się silnika przyczynia się do wzrostu stężenia tlenków azotu w spalinach. Podczas próby nie odnotowano stężeń tlenków azotu większych niż 80 ppm, a w około 70% czasu trwania próby wartość stężenia wynosiła około 30 ppm. Wartości stężeń tlenku węgla i węglowodorów w dalszej części próby silnika charakteryzują się małą dynamiką zmian i oscylują w zakresie wartości: tlenek węgla — 40 ppm, węglowodory — 15 ppm. Natomiast wartości stężenia dwutlenku węgla związane są z obciążeniem silnika i wynoszą: dwutlenek węgla — 2%, silnik bez obciążenia; dwutlenek węgla — 3,5%, silnik z obciążeniem. Tak niskie stężenia

tego związku w spalinach związane są z dużym współczynnikiem nadmiaru powietrza w komorze spalania.

### PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania stanowią początkowy fragment dalszej analizy, zmierzającej do podjęcia próby oszacowania emisji związków toksycznych spalin silnika turbośmigłowego w rzeczywistych warunkach eksploatacyjnych samolotu. Ostatecznie uzyskane podczas realizacji tego typu badań informacje mogą być wykorzystane do weryfikacji i opracowania uniwersalnych procedur badawczych określających wskaźniki i charakterystyki emisji statków powietrznych oraz ich oddziaływanie na środowisko.

### BIBLIOGRAFIA

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

## EMISSION TESTS OF THE TURBOPROP ENGINE OF STEADY OPERATING CONDITIONS

### ABSTRACT

The article presents the results of the exhaust gas emissions research of the aircraft PZL M28 'Bryza' engine provided during the stationary engines test on the apron. The paper

presents the results of the comparative analysis of achieved measurements. The analysis enables us to assess the method of the emissions measurement of the toxic gases contained in the exhaust gases of the turboprop engines.

Keywords:

emissions, toxic compounds, turboprop engines.