

Jerzy MERKISZ¹
Jarosław MARKOWSKI²
Jacek PIELECHA³
Sławomir SMUKTONOWICZ⁴

OCENA EMISJI ZWIĄZKÓW SZKODLIWYCH SPALIN SILNIKA ODRZUTOWEGO F100-PW-229 PODCZAS PRÓBY NA STANOWISKU HAMOWNIANYM

W artykule przedstawiono wyniki badań emisji związków szkodliwych spalin silnika F100-PW-229 będącego źródłem napędu samolotu F-16, przeprowadzonych w warunkach testu stacjonarnego na stanowisku hamownianym. 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 odrzutowych.

F100-PW-229 JET ENGINE EMISSION CHECK UNDER STATIONARY ENGINE TEST CONDITIONS ON THE TEST BENCH

The paper presents results of a research on exhaust gas emissions from F100-PW-229 jet engine, selected to power F-16, conducted under stationary engine test on the test bench. The paper presents an analysis of the conducted measurements helping to assess whether these stationary tests are applicable for evaluating emission of toxic compounds from turbine jet engines.

1. WPROWADZENIE

Polska jako kraj należący do struktury NATO zobowiązana jest do modernizacji swojej armii. Modernizacja ta przebiega we wszystkich rodzajach Sił Zbrojnych RP. Szczególnie zauważalne są działania w Wojskach Lotniczych. Podyktowane jest to szeregiem oczekiwań mających odwzorowanie w obecnie realizowanych zadań lotnictwa

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 31. Baza Lotnictwa Taktycznego w Poznaniu, POLAND, Jednostka Wojskowa 1156, Poznań 61-325, Silniki 1. Phone: +48 (61) 8 548 600, Fax: +48 (61) 8 548 555, E-mail: zastepca.31blot@sp.mil.pl

wojskowego. Głównym zadaniem lotnictwa wojskowego jest zapewnienie gotowości do realizacji zadań związanych z działalnością w strukturze NATO. Zadanie to dotyczy w szczególności lotnictwa transportowego. Lotnictwo taktyczne natomiast ukierunkowane jest przede wszystkim na obronę Polskiej przestrzeni powietrznej. Działalność ta ma duże znaczenie polityczne, gdyż Polska jest państwem, którego wschodnia granica jest jednocześnie granicą Unii Europejskiej. Sytuacja geopolityczna Polski wymaga utrzymania lotnictwa taktycznego, oraz konieczności jego unowocześnienia. Inwestycje polegające na zakupie nowych samolotów wiążą się z utrzymaniem wysokiej gotowości bojowej i dużym stopniem niezawodności maszyn. Dla zapewnienia tych dwóch parametrów konieczne jest w czasach pokoju zachowanie ciągłości eksploatacyjnej maszyn oraz zapewnienie dużego doświadczenia pilotów. W związku z tym, większa część czasu eksploatacji samolotów przeznaczona jest na szkolenie pilotów. Warunki eksploatacyjne samolotów wykorzystywanych podczas szkolenia odbiegają warunkom eksploatacji podczas wykonywania przez samolot misji bojowych. W związku z tym istotną wydaje się weryfikacja oddziaływania samolotów bojowych na środowisko naturalne [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 1F-16D Fighting Falcon (rys. 1), którego zespół napędowy stanowi silnik turbinowy, odrzutowy dwuprzepływowy F100-PW-229 (rys. 2). Parametry zespołu napędowego samolotu 1F-16D przedstawiono w tabeli 1. Jednym z elementów wyposażenia badanego samolotu jest rejestrator lotu, który rejestruje również parametry eksploatacyjne silnika.



Rys. 1. Samolot 1F-16D



Rys. 2. Silnik turbinowy odrzutowy F100-PW-229 [2]

Tab. 1. Podstawowe dane zespołu napędowego F100-PW-229 [2]

Ciąg [kN]	105,7 – 129,7
Masa [kg]	1696,4
Długość [mm]	4851
Średnica wlotu [mm]	884
Średnica maksymalna [mm]	1181
Spręż	32

2.2 Aparatura pomiarowa

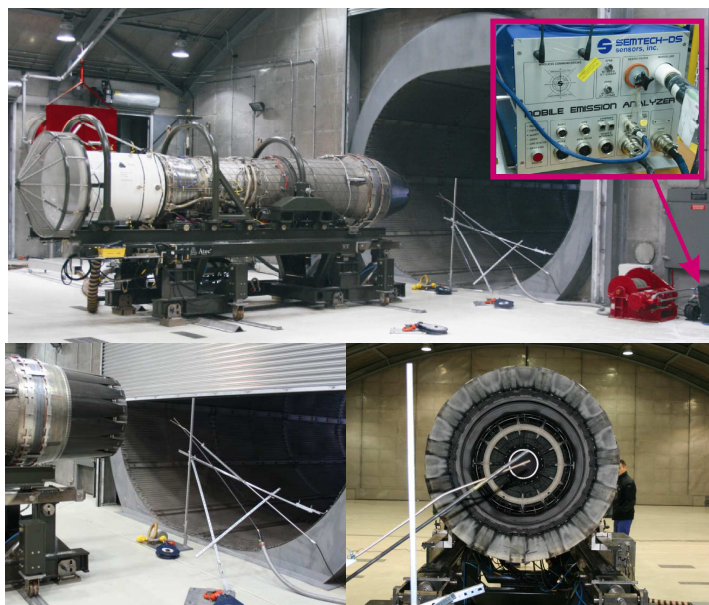
Celem przeprowadzonych badań była ocena emisji związków szkodliwych spalin podczas próby badawczej silnika umieszczonego na stanowisku hamownianym, w warunkach eksploatacyjnych zgodnych z warunkami testu nakazanymi przez producenta silnika. Do pomiarów stężenia związków toksycznych wykorzystano mobilny analizator do badań toksyczności SEMTECH DS firmy SENSOR (rys. 3).



Rys. 3. 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, CO₂ oraz tlenu [3].

Na potrzeby pomiarów emisji związków szkodliwych spalin dokonano montażu dodatkowych wsporników przy dyszy wylotowej spalin silnika niezbędnych do zamocowania sondy pomiarowej. Sondę pomiarową zainstalowano w odległości 1,5 m od dyszy wylotowej spalin, w taki sposób, aby pobór spalin był realizowany w osi strugi gazów. Przewody doprowadzające spaliny do analizatora zamocowano do zbudowanej konstrukcji wspornika, a analizator umieszczono w bezpiecznej odległości od dyszy wylotowej silnika (rys. 4).



Rys. 4. Silnik F100-PW-229 na stanowisku badawczym oraz miejsce zamocowania sondy poboru spalin i umieszczenia analizatora

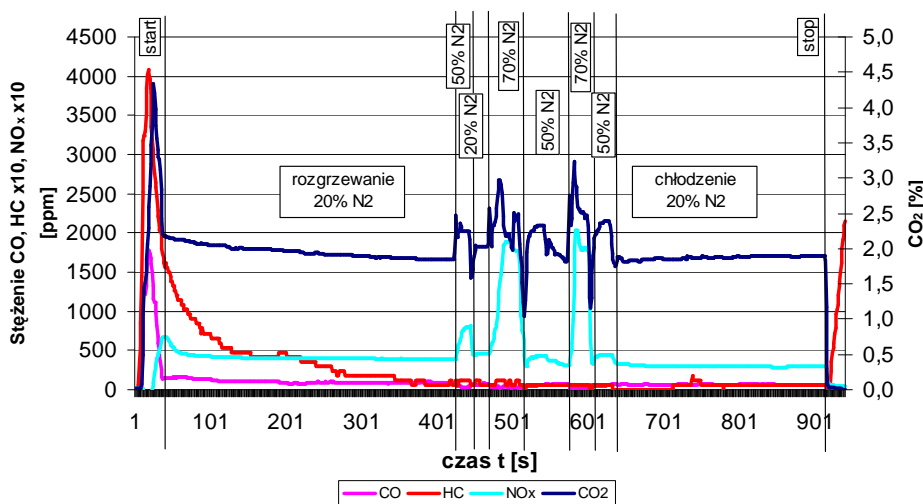
2.3 Cel badań i jego realizacja

Celem przeprowadzonych badań było dokonanie pomiaru emisji związków szkodliwych spalin z silnika turbinowego, odrzutowego, który jest źródłem napędu samolotu 1F-16D. Pomiary stężeń emisji związków szkodliwych spalin dokonano w sposób ciągły, dla parametrów eksploatacyjnych silnika odpowiadającym wartościom nastaw urządzeń sterujących według wytycznych testu producenta silnika. Realizacja badań wg testu producenta silnika jest obowiązkowa do weryfikacji stanu eksploatacyjnego zespołu

napędowego. W trakcie próby dokonano pomiaru stężeń związków tlenku węgla, dwutlenku węgla, węglowodorów, tlenków azotu. Przebieg próby i wartości poszczególnych parametrów eksploatacyjnych silnika były rejestrowane przez aparaturę pomiarową będącą na wyposażeniu hamowni.

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. Obraz zmian rejestrowanych 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. 5. Wyniki pomiarów stężenia związków szkodliwych spalin w funkcji czasu podczas przebiegu próby przedstartowej silnika F100-PW-229

Na wykresie wyszczególniono pionowymi liniami poszczególne fazy próby przedstartowej silnika wraz z procentowym wskaźnikiem obciążenia. Charakterystyczny dla silników turbinowych jest początek uruchomienia. W tej części próby widoczne jest 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 samej komory spalania oraz uzyskiwania właściwego stanu cieplnego pozostałych elementów silnika.

Rozgrzewanie się komory spalania przyczynia się do wzrostu stężenia NO_x w spalinach. W miarę wzrostu stanu cieplnego silnika wartość stężenia tlenków azotu w spalinach

przyjmuje ustaloną wartość na poziomie około 50 ppm przy obciążeniu silnika odpowiadającemu około 20% maksymalnej prędkości obrotowej wału turbiny N2. Wraz ze wzrostem prędkości obrotowej turbiny (wzrost obciążenia silnika) do 50% prędkości maksymalnej, stężenie NO_x w spalinach wynosi około 80 ppm. Wzrost prędkości obrotowej turbiny do 70% prędkości maksymalnej powoduje wzrost stężenia NO_x w spalinach do około 200 ppm. Podobny charakter zmian występuje w przypadku stężenia w spalinach dwutlenku węgla. Wartości maksymalne stężenia CO₂ w poszczególnych punktach eksploatacyjnych wynoszą odpowiednio: dla 20% maksymalnej prędkości obrotowej turbiny N2 – około 2% CO₂, dla 50% N2 – 2,5% CO₂, dla 70% N2 – 3,5% CO₂. Stężenie tlenu węgla w spalinach uzyskuje maksymalną wartość 1700 ppm w początkowej chwili uruchomienia silnika po inicjacji zapłonu paliwa w komorze spalania. Następnie szybko maleje i utrzymuje się w zakresie 50–100 ppm. Przebieg stężenia węglowodorów ma charakter podobny. Wartości maksymalne stężenia HC – 400 ppm, występują w chwili rozruchu silnika, następnie w miarę rozgrzewania się komory spalania i osiągnięciu przez silnik właściwego stanu cieplnego, wartość stężenia węglowodorów maleje do około 15 ppm. Stężenie węglowodorów ponownie rośnie z chwilą wyłączenia silnika osiągając wartość 200 ppm. Wzrost stężenia węglowodorów w tym zakresie wywołany jest odparowaniem resztek paliwa z komory spalania silnika. Stosunkowo niskie wartości stężeń poszczególnych związków w spalinach związane są z dużym współczynnikiem nadmiaru powietrza w komorze spalania, co w przypadku silników turbinowych skutkuje pewnym rozcieńczeniem spalin.

4. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania stanowią początkowy fragment dalszej analizy, zmierzającej do podjęcia próby oszacowania emisji związków toksycznych spalin silnika turbinowego, odrzutowego 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 kilku tego samego typu samolotów.

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] www.pw.utc.com/products/military/f100.asp
- [3] Instrukcja analizatora spalin SEMTECH DS.
- [4] Instrukcja eksploatacyjna samolotu 1F-16D.