

Investigation of the exhaust gas components emission of the Rolls-Royce – Allison 250 turbine engine in aspect of the engine technical state evaluation

Abstract: The preliminary investigations of the Rolls-Royce – Allison 250 turbine engine exhaust gas components have been presented in article. The investigations have been led in aspect of evaluation of engine technical state on the basis of the comparison of the exhaust gas samples drawn in different periods of engine exploitation. The measurements were conducted in different states of engine load according to the procedure generally accepted in aviation engines testing. The exemplary diagrams of the concentration of chosen exhaust gas components obtained on the basis of investigations have been also presented in article.

Key words: turbine engine, exhaust gas emission, engine technical state, engine diagnostics

Badania emisji składników spalin silnika turbospalinowego Rolls-Royce – Allison 250 w aspekcie oceny stanu technicznego silnika

Streszczenie: W artykule przedstawiono wstępne badania emisji składników spalin w gazach wylotowych silnika turbospalinowego Rolls-Royce Allison 250. Badania przeprowadzono w aspekcie oceny stanu technicznego silnika na podstawie porównania próbek gazów wylotowych pobieranych w różnych okresach eksploatacji silnika. Pomiar przeprowadzono w różnych stanach obciążenia silnika, zgodnie z przyjętą w badaniach silników lotniczych procedurą. W artykule zaprezentowano przykładowe wykresy zmian stężenia wybranych składników spalin otrzymane na podstawie badań.

Słowa kluczowe: silnik turbospalinowy, emisja spalin, stan techniczny silnika, diagnostyka silnika

1. Wstęp

Celem badań było sprawdzenie przydatności pomiaru emisji składników spalin do diagnozowania stanu technicznego i procesów roboczych mających wpływ na stan silnika turbospalinowego w procesie eksploatacji. Pomiar parametrów gazów wylotowych i zastosowanie ich jako nośnika informacji o stanie elementów systemu spalania oraz symptomów zużycia układu łożyskowania rozszerza znacznie funkcje modelu diagnostycznego silnika turbospalinowego. Opracowanie nowych narzędzi diagnostycznych może pozwolić na zmianę sposobu kierowania eksploatacją według stanu technicznego.

2. Procedury badawcze i aparatura

Badania przeprowadzono zgodnie z przyjętą w lotnictwie procedurą testu silnika turbospalinowego [3] obejmującą następujące etapy.

I – uruchomienie silnika, osiągnięcie prędkości obrotowej małego gazu i jej ustabilizowanie. Wydatek paliwa dozowany jest przez automat rozruchu

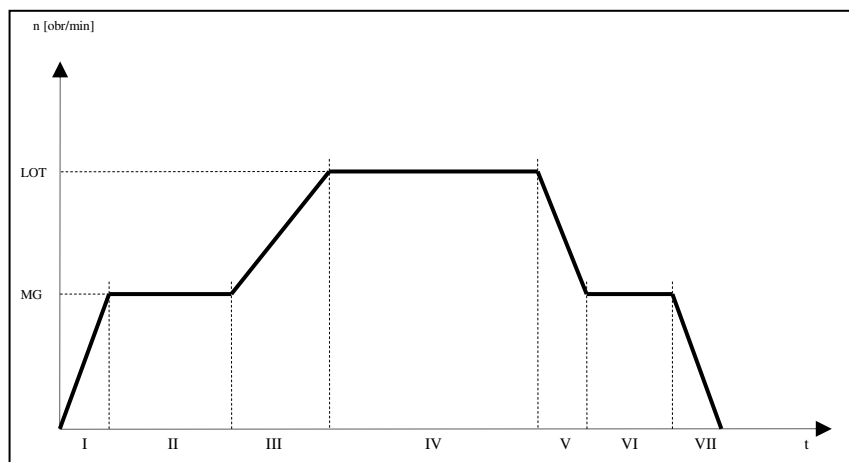
umieszczony w regulatorze prędkości obrotowej wirnika turbosprężarki.

II – zakres małego gazu (MG) – na tym zakresie pracy regulator prędkości obrotowej wirnika turbosprężarki nie reaguje na zmianę obciążenia silnika (brak przepływu sygnałów sterujących między regulatorem prędkości obrotowej turbiny napędowej a regulatorem prędkości obrotowej wirnika turbosprężarki).

III – zakres przejściowy – osiągnięcie zakresu LOT – na tym zakresie regulator prędkości obrotowej wirnika turbiny napędowej steruje regulatorem wirnika turbosprężarki (a tym samym wydatkiem paliwa) w zależności od obciążenia silnika.

IV – zakres LOT – układ sterowania i automatycznej regulacji steruje wydatkiem paliwa w zależności od obciążenia silnika. Po przestawieniu elementu sterującego w skrajne położenie prędkość obrotowa wirnika turbosprężarki powinna ustabilizować się na poziomie około 80% – zależnie od obciążenia silnika i zewnętrznych warunków pracy. Zmiana obciążenia powoduje zmianę wydatku paliwa i prędkości obrotowej wirnika turbosprężarki przy zachowaniu stałej prędkości obrotowej wirnika turbiny napędowej.

V – przejście na zakres małego gazu – poprzez ustawienie elementu sterującego w położeniu wyjściowym. Układ sterowania automatycznej regulacji zmniejsza wydatek paliwa proporcjonalnie do zmiany położenia elementu sterującego aż do ustalenia się prędkości obrotowej małego gazu.



Rys.1.1. Program próby silnika Rolls-Royce Allison 250MG – zakres małego gazu (59–63%), LOT – zakres LOT (80–81%)

Fig. 1.1. Program of the Rolls-Royce Allison 250 engine test MG – low range (59–63%), LOT – flight range (80–81%)

VI – zakres małego gazu – chłodzenie elementów gorących w czasie minimum 2 min. Po wystudzeniu następuje wyłączenie silnika przez odcięcie dopływu paliwa.

VII – wybieg wirnika turbosprężarki – na tym etapie zawartość związków węglowodorowych w strumieniu wylotowym gwałtownie się zmniejsza, osiągając chwilowe wartości związane z pozostałościami cząsteczek paliwa i oleju smarującego w przestrzeni roboczej silnika, a następnie zanika.

W badaniach zastosowano analizator składników gazowych HORIBA MEXA 1500GH. Analizator wraz z elementami systemów towarzyszących usytuowane były w pobliżu kabiny śmigłowca tak, by zapewnić możliwie krótką drogę poboru próbki spalin. Spaliny prowadzono do analizatorów drogą grzaną aby zapobiec wykrapaniu się węglowodorów w układzie poboru spalin. Do analizatora węglowodorów doprowadzane są spaliny o temperaturze $(195 \pm 5) ^\circ\text{C}$ a do analizatorów pozostałych gazów, wymagających

suchych spalin, o temperaturze $(5 \pm 2) ^\circ\text{C}$. Analizator składników gazowych spalin MEXA 1500GH składa się z modułów realizujących różne zadania w systemie poboru, kondycjonowania spalin i pomiaru stężenia składników. Pomiar stężenia tlenu węgla (CO) i dwutlenku węgla (CO_2) realizowany jest przy zastosowaniu modułu MCA230 w jednym układzie pomiarowym przy zastosowaniu metody selektywnego pochłaniania promieniowania podczerwonego (NDIR). Taką samą metodą realizowany jest pomiar stężenia tlenków azotu (NO_x). W tym przypadku jest możliwość użycia konwertera NO_2 do NO w celu określenia sumarycznej emisji tlenków azotu. W tym samym module pomiarowym znajduje się analizator (PMD) stężenia tlenu (O_2).

W trakcie badań wstępnych sprawdzono rozkład stężenia składników spalin w przewodzie wylotowym silnika przez

zmianę położenia sond do poboru próbki spalin. Nie stwierdzono uchwytej zmiany składu spalin – wybrano zatem środkowe położenie sond w przewodach wylotowych.

Po wykonaniu pierwszej serii pomiarów rozszerzono procedurę badawczą o zimny rozruch, który powinien spowodować oczyszczenie przewodów wylotowych z gazowych związków pozostałych z



Rys.2.1. Widok stanowiska badawczego śmigłowca PZL Kania wraz z aparaturą pomiarową

Fig. 2.1. View of the test stand of PZL Kania helicopter with measuring equipment

fazy pracy silnika i rejestrację tych pozostałości.

Zmodyfikowana procedura obejmowała następującą kolejność działań:

- ok. 0,5 -1 min przed uruchomieniem silnika - włączenie rejestracji sygnałów,
- uruchomienie silnika i obciążenie według dotychczasowego schematu: MG → LOT → MG,
- wyłączenie silnika,
- po 2 min od wyłączenia silnika przeprowadzenie zimnego rozruchu,
- po 2 min od zakończenia pierwszego zimnego rozruchu przeprowadzenie drugiego zimnego rozruchu,
- wyłączyć rejestracji sygnałów po 2-3 min od zakończenia drugiego zimnego rozruchu.

Po wykonaniu pomiarów według powyższej procedury, okazało się jednak, że nie powoduje ona zauważalnej zmiany w zarejestrowanych wartościach stężeń badanych związków. Z tego powodu odstąpiono od przedstawionej koncepcji przeprowadzenia dodatkowych zimnych rozruchów, pozostawiając jedynie wydłużony czas pomiaru po zakończeniu wybiegu wirnika turbosprężarki.

3. Przebieg badań

Badania odbywały się etapami, z uwzględnieniem technicznych i logistycznych możliwości przeprowadzenia pomiarów. Śmigłowce PZL Kania, które napędzane są silnikami RR-Allison 250 będącymi obiektem badań, są w czynnej służbie. Stąd możliwość przygotowania stanowiska i przeprowadzenia pomiarów uzależniona jest od szeregu czynników niezależnych od zespołu badawczego. Należy tu wspomnieć o takich uwarunkowaniach, jak prowadzone przez Wojewódzką Komendę Policji w Krakowie działania operacyjne lub międzyresursowe czynności obsługowe przewidziane przez producenta śmigłowca. Niezwykle istotnym czynnikiem umożliwiającym przeprowadzenie badań są również odpowiednie warunki atmosferyczne.

Poza wymienionymi czynnikami jest jeszcze jeden nadrzędny – czas pracy (nalot) śmigłowców. W celu uzyskania miarodajnych rezultatów pomiarów i obserwacji zmian w przebiegu wielkości mierzonych, należy badania wykonać w pewnym odstępie czasu. Powinno to umożliwić znalezienie korelacji między otrzymanymi wynikami, a zużyciem eksploatacyjnym silników czy ewentualnymi usterkami.

Wspomniane wyżej uwarunkowania powodują znaczne trudności w ustaleniu i dotrzymaniu założonych przez zespół badawczy interwałów czasowych pomiędzy kolejnymi sesjami pomiarowymi.

Badanie, zgodnie z przyjętą procedurą, rozpoczynane było od lewego silnika śmigłowca i przebiegało według następującej kolejności:

- przygotowanie
- ustawienie śmigłowca PZL Kania na lądowisku,

- montaż i podłączenie aparatury pomiarowej,
- włączenie analizatorów Horiba MEXA 1500GH (oraz opcjonalnie TEOM Horiba) na czas stabilizacji termicznej (co najmniej 2 godz.),
- montaż sond pomiarowych,

- pomiar
- uruchomienie rejestracji danych pomiarowych,
- rozruch silnika śmigłowca, a następnie zmiana obciążenia silnika według określonej procedury,
- wyłączenie silnika i wybieg wirnika turbosprężarki aż do zatrzymania,
- zatrzymanie rejestracji danych,
- demontaż sond pomiarowych i przeniesienie ich do wylotu spalin drugiego silnika śmigłowca,
- powtórzenie sekwencji pomiarowej,
- zakończenie badań i demontaż stanowiska.

4. Wyniki badań

Przeprowadzono badania dwu śmigłowców, przeprowadzając cztery pomiary dla każdego silnika, w celu zgromadzenia danych wyjściowych. Wyniki pomiarów posłużyły także do oceny zaproponowanych procedur badawczych. Dokonano porównania stężenia składników spalin czterech badanych silników, aby ocenić rozrzut wartości mierzonych wielkości. Ocena przydatności analizy spalin do diagnozowania stanu technicznego silnika turbospalinowego wymaga przeprowadzenia wielokrotnych pomiarów, zbudowania bazy danych, poszukiwania korelacji pomiędzy stopniem zużycia i ewentualnymi usterkami silników a składem spalin.

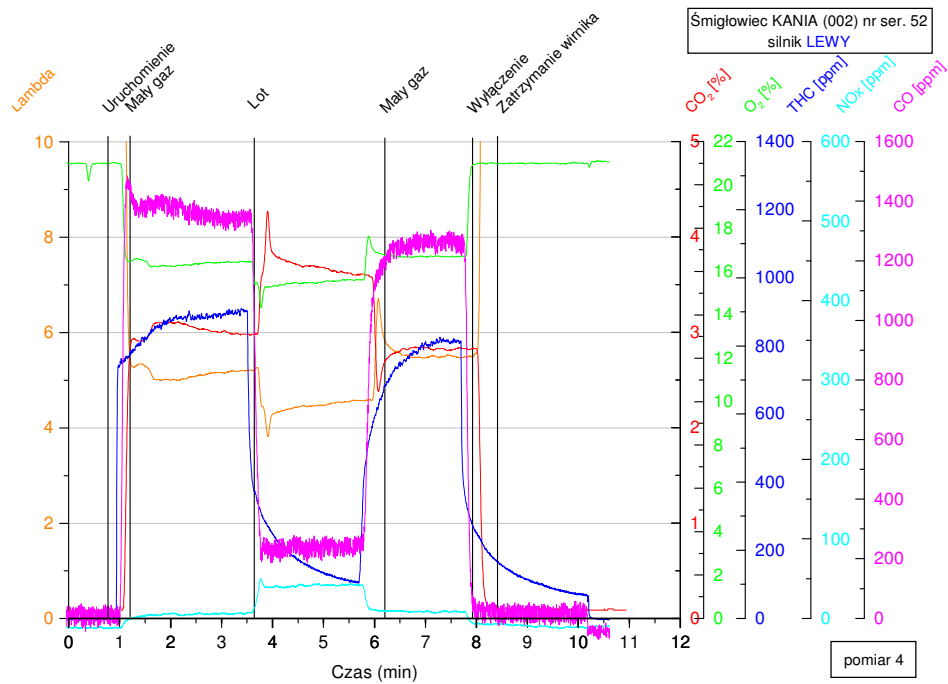
Przykładowe wykresy przebiegów wartości stężeń gazowych składników spalin silnika śmigłowca PZL Kania 020 przedstawiono na rysunkach 4.1 i 4.2.

Podczas ostatniej sesji pomiarowej zaobserwowano uchwytną anomalię w przebiegu stężenia węglowodorów w fazie LOT i po wyłączeniu prawego silnika.

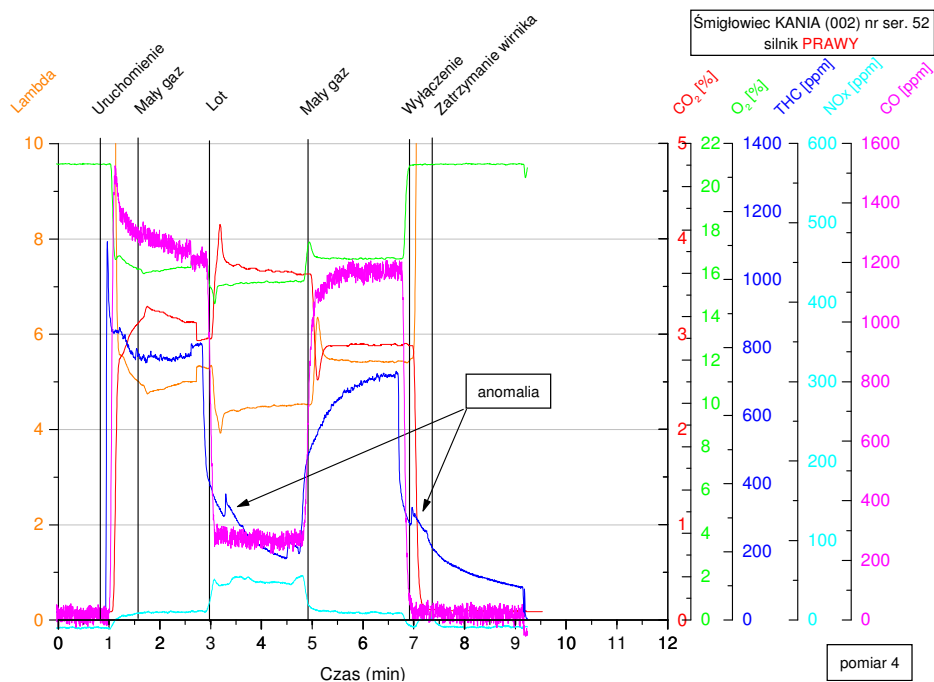
Nastąpiło chwilowe zwiększenie stężenia węglowodorów w rurze wylotowej silnika, który według relacji obsługi wykazuje sporadyczne dymienie po zatrzymaniu. Może to wskazywać na wypalanie się oleju smarującego lub paliwa w kontakcie z elementami silnika o wysokiej temperaturze. Zdaniem autorów, w tym obszarze należy szukać związków pomiędzy zaobserwowanymi zjawiskami. Do chwili obecnej nie zaobserwowano w tym silniku zwiększonego zużycia oleju smarującego, wskazującego na wystąpienie niesprawności.

5. Wnioski

- Metody pomiaru emisji składników spalin i aparatura stosowana w badaniach homologacyjnych silników tłokowych mogą być zastosowane do



Rys. 4.1. Zarejestrowany przebieg stężenia składników spalin i wartości współczynnika nadmiaru powietrza lewego silnika śmigłowca Kania 002
 Fig. 4.1. Recorded run of exhaust gas components concentration and air excess number of the left engine of Kania 002 helicopter



Rys. 4.2. Zarejestrowany przebieg stężenia składników spalin i wartości współczynnika nadmiaru powietrza prawego silnika śmigłowca Kania 002
 Fig. 4.2. Recorded run of exhaust gas components concentration and air excess number of the right engine of Kania 002 helicopter

określenia właściwości ekologicznych silników przepływowych.

- Ze względu na znaczny stopień turbulencji spalin w układzie wylotowym, miejsce poboru próbek spalin w przekroju poprzecznym przewodu wylotowego nie ma istotnego wpływu na wyniki pomiarów.

• Ocena przydatności analizy spalin do diagnozowania stanu technicznego silnika turbospalinowego wymaga poszukiwania korelacji pomiędzy

stopniem zużycia i ewentualnymi usterkami silników a składem spalin. Konieczne jest przeprowadzenie wielokrotnych pomiarów w trakcie eksploatacji silników i utworzenie odpowiedniej bazy danych.

- Analiza wyników pomiarów wstępnych doprowadziła do skorygowania procedury pomiarowej. Uznano, że należy zwrócić szczególną uwagę na re-

jestrację emisji składników spalin w okresie wybiegu silnika ze względu na zaobserwowane dymienie silnika po zatrzymaniu wirnika. Zaproponowano wydłużenie czasu pomiaru od chwili odcięcia paliwa poprzez stan zatrzymania wirnika turbosprężarki aż do zaniku węglowodorów w sondzie pomiarowej.

Literatura

- [1] Lindstedt P., Borowczyk H., Magier J.: Sterowanie procesem użytkowania turbinowego silnika śmigłowego na podstawie kompleksowych sygnałów diagnostycznych i sygnałów otoczenia, Międzynarodowa Konferencja Diagnostyka Samolotów i Śmigłowców AIRDIAG 2005, s. 153-160.
- [2] Lindstedt P.: Kompleksowa diagnostyka w procesie oceny jakości silnika śmigłowego w

inżynieryjno-lotniczym otoczeniu, Diagnostyka, Nr 3(39), 2006, s. 179-186.

- [3] Dutczak J., Magier J., :“Conception of evaluation of technical state of turbine engine elements on the base of exhaust gases chemical composition changes”, Międzynarodowa Konferencja PTNSS-Kongres 2009, Opole 2009; wydawnictwo PTNSS Silniki Spalinowe 2009

Mr Jerzy Dutczak, DEng. – doctor in the Combustion Engines Chair of Automobiles and Internal Combustion Engines Institute at Cracow University of Technology.



Dr inż. Jerzy Dutczak – adiunkt w Katedrze Silników Spalinowych na Wydziale Mechanicznym Politechniki Krakowskiej.

Mr Michał Mareczek, DEng. – doctor in the Combustion Engines Chair of Automobiles and Internal Combustion Engines Institute at Cracow University of Technology.



Dr inż. Michał Mareczek – doktor w Katedrze Silników Spalinowych na Wydziale Mechanicznym Politechniki Krakowskiej.

Mr Krzysztof Śliwiński, DEng. – doctor in the Combustion Engines Chair of Automobiles and Internal Combustion Engines Institute at Cracow University of Technology.



Dr inż. Krzysztof Śliwiński – adiunkt w Katedrze Silników Spalinowych na Wydziale Mechanicznym Politechniki Krakowskiej.

Mr Janusz Magier, DSc., DEng. – worker of Polish State Aviation



Dr inż. Janusz Magier – pracownik lotnictwa państwowego

Mr Tadeusz Papuga, DEng. – doctor in the Combustion Engines Chair of Automobiles and Internal Combustion Engines Institute at Cracow University of Technology.



Dr inż. Tadeusz Papuga – adiunkt w Katedrze Silników Spalinowych na Wydziale Mechanicznym Politechniki Krakowskiej.