

Jerzy MERKISZ<sup>1</sup>  
Jarosław MARKOWSKI<sup>2</sup>  
Jacek PIELECHA<sup>3</sup>  
Robert KOZŁOWSKI<sup>4</sup>

### **BADANIA EMISJI ZWIĄZKÓW SZKODLIWYCH SPALIN TURBINOWEGO SILNIKA ŚMIGŁOWCOWEGO TW2-117 PODCZAS PRZEDSTARTOWEJ PRÓBY SILNIKÓW ŚMIGŁOWCA MI-17**

*W artykule przedstawiono wyniki badań emisji związków szkodliwych spalin silnika TW2-117 będącego źródłem napędu śmigłowca Mi-17, 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 do oceny emisji związków toksycznych spalin z turbinowych silników śmigłowcowych.*

### **EMISSION TESTS OF THE TW2-117 HELICOPTER TURBINE ENGINE DURING PRESTART ENGINES TEST OF THE MI-17 HELICOPTER**

*The paper presents the results of exhaust gas emissions research for the Mi-17helicopter engine, type TW2-117, 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 tests in the toxic emission compounds evaluation from helicopter turbine engines.*

#### **1. WPROWADZENIE**

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

<sup>1</sup> 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

<sup>2</sup> 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

<sup>3</sup> 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

<sup>4</sup> 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

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 oraz możliwościami realizacji zadań transportowych wynikających z potrzeb działań w bliskiej odległości, rejonie walk, w zadaniach ewakuacyjnych, w przypadku klęsk żywiołowych. Do zadań pierwszego rodzaju wykorzystuje się samoloty, natomiast w przypadku działań drugiego rodzaju, pożądanym statkiem powietrznym do wykorzystania jest śmigłowiec.

Zapotrzebowanie na zadania transportowe dedykowane śmigłowcom przekładają się niemal bezpośrednio na wzrost ilości eksploatowanych tego typu statków powietrznych. 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 [2].

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 turbinowego silnika śmigłowcowego wykonano z wykorzystaniem śmigłowca Mi-17 (rys. 1), którego zespół napędowy stanowią dwa silniki turbo-wałowe, TW2-117 (rys. 2). Parametry zespołu napędowego Mi-17 przedstawiono w tabeli 1. Pomiar stężeń związków szkodliwych zawartych w spalinach został przeprowadzony podczas próby przedstartowej śmigłowca.



Rys. 1. Śmigłowiec Mi-17

Tab. 1. Podstawowe dane silnika TW2-117 [1]

Moc na wale [kW]	1 103
Jednostkowe zużycie paliwa [g/kWh]	394
Prędkość obrotowa sprężarki [obr/min]	20 880
Prędkość obrotowa wału wyjściowego [obr/min]	11 400
Natężenie przepływu powietrza [kg/s]	8,1
Spręż [-]	6,6
Masa [kg]	330
Szerokość [mm]	547
Wysokość [mm]	754

## 2.2 Aparatura pomiarowa

Celem przeprowadzonych badań była ocena emisji związków szkodliwych spalin silnika turbinowego, wałowego będącego zespołem napędowym śmigłowca Mi-17. Do pomiarów stężenia związków toksycznych wykorzystano mobilny analizator do badań toksyczności SEMTECH DS firmy SENSOR (rys. 2).

Analizator umożliwiał pomiar stężenia tlenu 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<sub>x</sub>, CO, CO<sub>2</sub> oraz tlenu [3].

Na potrzeby pomiarów emisji związków szkodliwych spalin dokonano montażu dodatkowych wsporników przy dyszy wylotowej spalin silnika niezbędnych do zamocowania sondy pomiarowej i przewodów doprowadzające spaliny do analizatora (rys. 3). Analizator umieszczono we wnętrzu śmigłowca w przestrzeni ładunkowej.



Rys. 2. Widok analizatora spalin



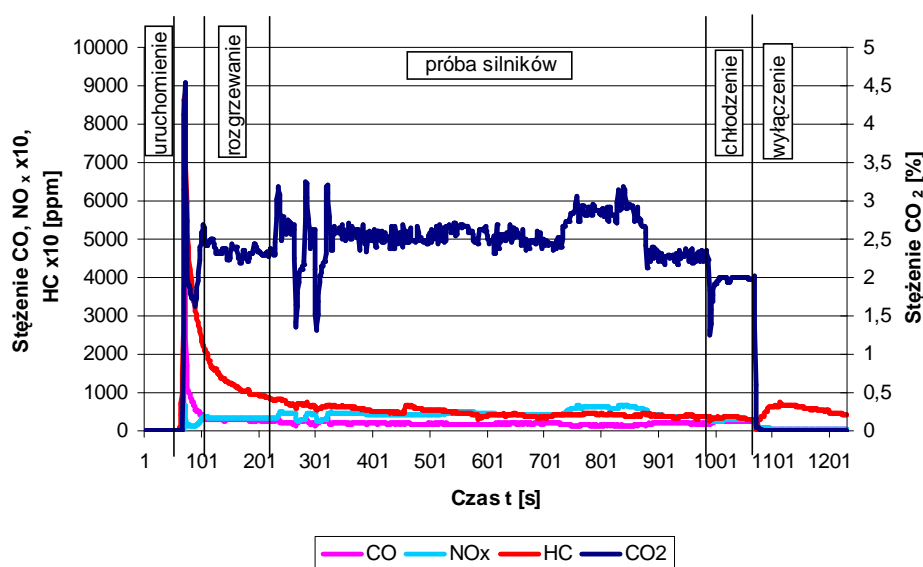
Rys. 3. Miejsce zamocowania sondy poboru spalin na śmigłowcu Mi-17

### 2.3 Cel badań i jego realizacja

Celem przeprowadzonych badań było dokonanie pomiaru emisji związków szkodliwych spalin z silnika turbo-wałowego o zastosowaniu śmigłowcowym, podczas przedstartowej próby śmigłowca. W trakcie próby silnika dokonano ciągłego pomiaru stężeń związków tlenku węgla, dwutlenku węgla, węglowodorów, 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 śmigłowca.

### 3. WYNIKI POMIARÓW

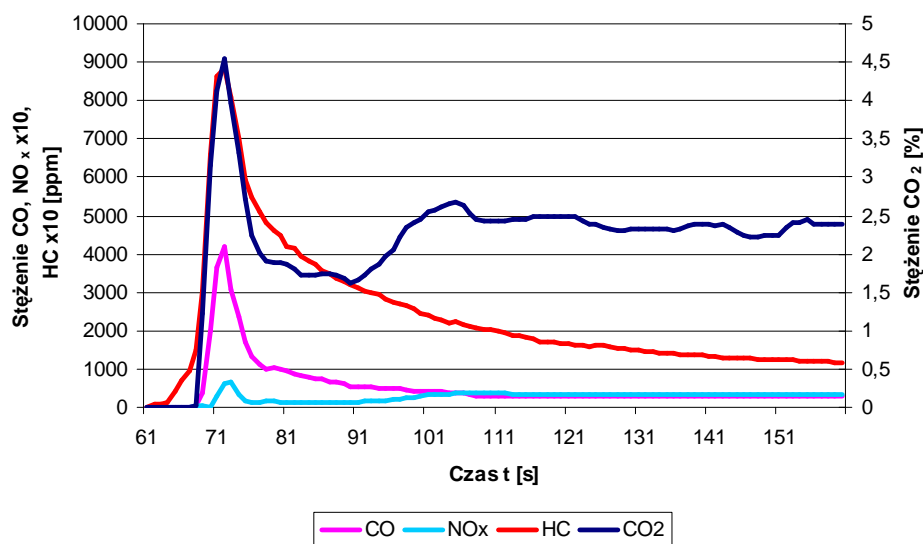
Podczas badań dokonano ciągłego pomiaru stężeń wybranych związków szkodliwych spalin w funkcji czasu. Uzyskane przebiegi wartości stężenia poszczególnych związków w spalinach odniesiono do poszczególnych faz próby silnika. Obraz zmian rejestrowanych parametrów przedstawiono na wykresie zamieszczonym na rysunku 4. Przeprowadzona analiza zmian parametrów odniesiona do procedury realizacji przedstartowej próby silnika pozwoliła na wyodrębnienie poszczególnych stanów obciążenia silnika.



Rys. 4. Wyniki pomiarów stężenia związków szkodliwych spalin w funkcji czasu podczas przebiegu próby przedstartowej śmigłowca Mi-17

Na wykresie wyszczególniono pionowymi liniami poszczególne fazy eksploatacyjne. Charakterystyczny dla silników turbinowych jest początek uruchomienia, który dla lepszego zobrazowania przedstawiono na rysunku 5. W tej części próby widoczne jest wysokie stężenie węglowodorów, które jest bezpośrednio związane z dostarczeniem paliwa do komory spalania jeszcze przed inicjacją zapłonu. Następnie z chwilą zapłonu w komorze spalania gwałtownie rosną stężenia związków CO, CO<sub>2</sub> 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<sub>x</sub> w spalinach. W miarę wzrostu stanu cieplnego silnika wartość stężenia tlenków azotu w spalinach przyjmuje ustaloną wartość na poziomie około 36 ppm. Wraz ze wzrostem prędkości obrotowej turbiny (wzrost obciążenia silnika) do 50% prędkości maksymalnej, stężenie NO<sub>x</sub> w spalinach wynosi około 45 ppm. Wzrost prędkości obrotowej turbiny do 60% prędkości maksymalnej powoduje wzrost stężenia NO<sub>x</sub> w spalinach do około 60 ppm.



Rys. 5. Wyniki pomiarów stężenia związków szkodliwych spalin w funkcji czasu podczas uruchomienia silnika TW2-117

Podobny charakter zmian występuje w przypadku stężenia w spalinach dwutlenku węgla. Wartości maksymalne stężenia CO<sub>2</sub> w poszczególnych punktach eksploatacyjnych wynoszą odpowiednio: dla 20% maksymalnej mocy – około 2,5% CO<sub>2</sub>, dla 50% mocy – 2,75% CO<sub>2</sub>, dla 60% mocy – 3,25% CO<sub>2</sub>. Stężenie tlenu węgla w spalinach uzyskuje maksymalną wartość 4200 ppm w początkowej chwili uruchomienia silnika po inicjacji zapłonu paliwa w komorze spalania. Następnie szybko maleje i utrzymuje się w zakresie 140–200 ppm. Przebieg stężenia węglowodorów ma charakter podobny. Wartości maksymalne stężenia HC – 900 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 45 ppm. Stężenie węglowodorów ponownie rośnie z chwilą wyłączenia silnika osiągając wartość 65 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, wałowego o zastosowaniu śmigłowcowym w rzeczywistych warunkach eksploatacyjnych

śmigłowca. 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 śmigłowca 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] Dzierżanowski P., Kordziński W., Otyś J., Szczeciński S., Wiatrek R., *Turbinowe silniki śmigłowe i śmigłowcowe*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1985.
- [2] Kotlarz W., *Turbinowe zespoły napędowe źródłem skażeń powietrza na lotniskach wojskowych*, Wyższa Szkoła Oficerska Sił Powietrznych, Dęblin 2003.
- [3] Instrukcja analizatora spalin SEMTECH DS.
- [4] Instrukcja eksploatacyjna śmigłowca Mi-17.