

Mirosław JEMIELNIAK ORCID 0000-0001-8908-2281, miroslaw.jemielniak@polsl.pl
Silesian University of Technology (Politechnika Śląska), Poland

ASSESSMENT OF THE EFFECTIVENESS OF INTEGRATED FLIGHT MONITORING INSTRUMENTS IN THE CONTEXT OF AIRCRAFT OPERATIONAL SUPERVISION IN GENERAL AVIATION

Ocena efektywności zespolonych przyrządów monitorowania lotów w kontekście nadzoru nad prawidłowością eksploatacji statków powietrznych w lotnictwie ogólnym

Abstract: *Evaluating integrated flight monitoring devices in general aviation plays a crucial role in overseeing aircraft operation. This article analyses the effectiveness of the MVP 50 engine monitoring system based on data from Aero AT 3 aircraft. The study focuses on assessing the utility of these devices in ensuring flight safety and maintaining aircraft efficiency within aviation organizations. The results confirm that integrated flight monitoring devices play a significant role in overseeing aircraft operation, detecting potential issues and facilitating appropriate corrective actions.*

Keywords: flight parameter monitoring, airworthiness supervision, integrated flight monitoring instruments

Streszczenie: *Monitorowanie parametrów lotu i nadzór nad prawidłowością eksploatacji statków powietrznych są kluczowe dla bezpieczeństwa lotów. Zespolone przyrządy, takie jak system monitorujący parametry pracy silnika MVP 50, umożliwiają wykrycie potencjalnych problemów i podejmowanie działań naprawczych. Badanie przeprowadzone na samolotach ATO Politechniki Śląskiej wykazało, że MVP 50 dostarcza dokładne informacje o prędkości obrotowej silnika i temperaturach, co pozwala na monitorowanie i utrzymanie sprawności statków powietrznych. Wnioskiem z badania jest potrzeba dalszego rozwoju technologii i infrastruktury, aby umożliwić szybszy dostęp do danych i skuteczną reakcję na ewentualne niesprawności, co przyczyni się do lepszego zarządzania bezpieczeństwem lotów w lotnictwie ogólnym.*

Słowa kluczowe: monitorowanie parametrów lotu, nadzór nad zdolnością lotu, zintegrowane przyrządy monitorujące lot

Received: July 18, 2023/ Revised: August 8, 2023/ Accepted: August 31, 2023

1. Introduction

Monitoring flight parameters and ensuring the proper operation of aircraft play a crucial role in ensuring flight safety and maintaining aircraft airworthiness in aviation organizations. On the one hand, monitoring flight parameters is essential for pilots to operate aircraft correctly. On the other hand, integrated flight monitoring instruments play a fundamental role in detecting airplane malfunctions. By continuously monitoring flight parameters, these technologically advanced instruments enable the detection of even minor deviations that may indicate potential failures or damages in aircraft. This allows aviation organizations to identify and take appropriate corrective actions early, minimizing the risk of failures and threats to flight safety.

Effective monitoring of flight parameters using integrated instruments allows for identifying potential issues that may impact flight safety. Maintaining aircraft airworthiness and monitoring their parameters ensures total control over their operation, minimizing the risk of abnormalities and failures.

This article will mainly focus on evaluating the effectiveness of integrated flight monitoring instruments, with particular emphasis on the MVP 50 engine performance monitoring system. The experiences from operating Aero AT 3 aircraft, owned by the Academic Training Center (ATO) of the Silesian University of Technology, equipped with the integrated MVP 50 instrument, will be presented.

Real flight recordings registered on this instrument were analysed to assess how effectively they can contribute to supervising proper aircraft operation in general aviation. The ultimate goal is to provide information on the usefulness of such instruments in flight safety and maintaining aircraft in an aviation organization.

2. Methodology

2.1. Flight Parameter Monitoring

Monitoring flight parameters is crucial in ensuring aircraft safety and proper operation in both general and commercial aviation. In the general aviation sector, many advanced integrated instruments, such as the Garmin G1000, Dynon SkyView, and Aspen Avionics Evolution, are primarily used for aircraft piloting. However, it is worth noting that these

instruments have significant potential for broader utilization in aircraft technical operations. Integrated instruments can play a significant role in monitoring the proper operation of aircraft. The ability to monitor flight parameters using these instruments allows for checking the aircraft's technical condition, verifying the proper functioning of its components, and assessing the overall performance of onboard systems [1, 2]. Such monitoring allows early detection of potential technical issues and taking appropriate corrective actions before serious failures occur. In commercial aviation, where larger aircraft are operated, regulatory requirements for flight parameter monitoring are particularly stringent. Regulatory organizations such as the International Civil Aviation Organization (ICAO) and the Federal Aviation Administration (FAA) define requirements for monitoring and reporting flight parameters, such as Flight Data Recorders (FDR) and Cockpit Voice Recorders (CVR), as well as flight management systems that enable the collection, storage, and analysis of detailed flight data to ensure passenger and cargo safety. The collected flight data can be used to investigate aviation incidents and improve procedures and safety standards. However, in general aviation, where smaller aircraft dominate, the use of advanced integrated instruments in aircraft technical operations is often limited. The aircraft's small size and financial constraints make the installation of expensive flight parameter monitoring systems impractical. Nevertheless, solutions tailored to the specific needs of general aviation need to be developed, allowing for effective monitoring and supervision of proper aircraft operation without excessive financial burden.

2.2. MVP-50 Engine Performance Monitoring System

To assess the effectiveness of integrated flight monitoring instruments in supervising the proper operation of aircraft in general aviation, data was obtained from the MVP-50 engine performance monitoring system installed on the Silesian University of Technology's Academic Training Center (ATO) aircraft.

The MVP-50 instrument is an advanced engine performance monitoring system widely used in general aviation. Its main purpose is to provide pilots with essential real-time flight parameters and aircraft status information. The MVP-50 can be used to monitor flight parameters on both multi-engine aircraft and helicopters. It is installed in the aircraft cockpit. The instrument has a high-resolution touchscreen display, enabling easy interaction and access to various functions. It includes multiple sensors that gather data from various aircraft systems, such as engine parameters, fuel management, and electric system operation, as well as piloting parameters like speed, altitude, attitude, navigation data, and many others. It monitors and displays diverse flight data in real time, enabling the pilot to control the aircraft's condition and respond appropriately to changes. The instrument can also generate warnings and alerts, such as low fuel level, high engine temperature, exceeding permissible speed values, etc.

The MVP-50 instrument has built-in memory that allows for recording flight data. The data is stored in the instrument's memory and can be retrieved after the flight to analyze and monitor operations. Before the flight, the pilot should configure the instrument according to the flight requirements and preferences. Desired units of measurement, display configurations, preferred alarms and warnings, and other parameters available in the settings menu can be set. Buttons and knobs on the panel are used for menu navigation and performing operations within the instrument. The displayed data is presented on a high-quality touchscreen display, allowing for intuitive control and real-time information reading. The layout can be customized, and parameters, presentation modes (such as charts, indicators, tables, etc.), and other display settings can be selected.

The MVP-50 instrument provides the pilot with a wide range of flight and aircraft status information. This enables the pilot to monitor flight parameters, diagnose malfunctions, make appropriate navigational decisions, and maintain proper aircraft operation. It is worth noting that the specific parameters displayed by the MVP-50 may vary depending on the configuration of the aircraft on which it is installed and the availability and configuration of sensors. The instrument is designed to provide piloting, flight control, and engine-related information essential for safe and proper flight.

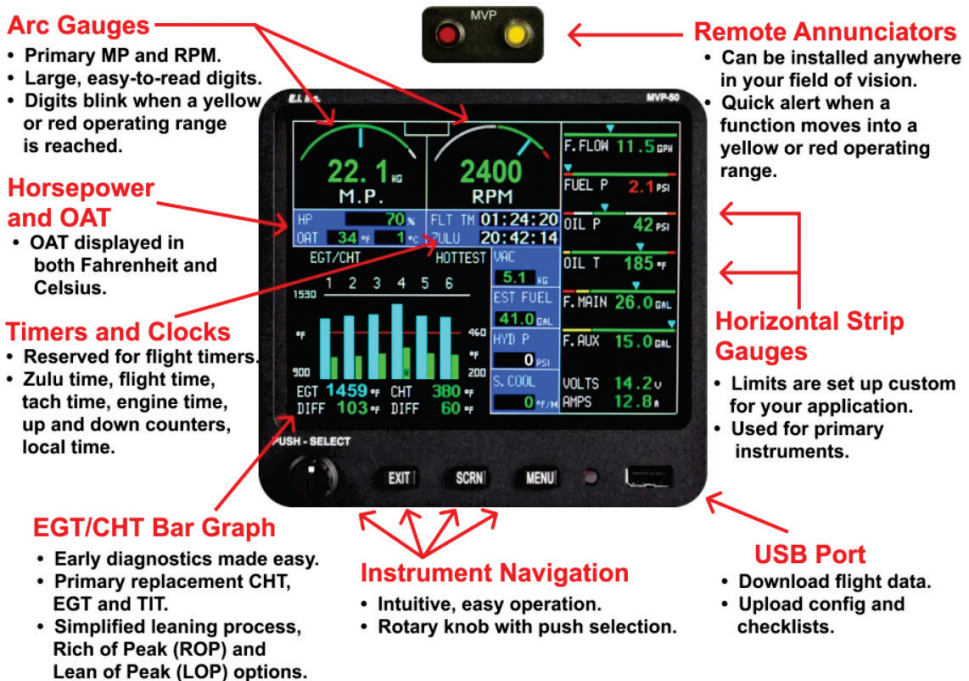


Fig. 1. MVP-50P Engine Monitor [3]

3. Results and Discussion

3.1. Analysis of Selected Flight Parameters

The analysis conducted as part of the research focused on engine performance parameters significant for assessing the technical condition and detecting potential issues. Specifically, the analysis focused on rotational speed, cylinder head temperatures, and exhaust gas temperatures. The recordings of these parameters were retrieved from the MVP-50 instrument and analyzed to identify any relationships and patterns that could affect potential engine damage. The study considered three different aircraft subjected to analysis. The first aircraft, registered as SP-AVA, had recordings from 981 flights, with the engine operating for 858 hours. The second aircraft, SP-PBC, had 1163 recordings, and the engine had a runtime of 911 hours. The third aircraft, designated as SP-EZH, had the longest operational history, with the last 1258 recordings indicating 1082 hours of engine operation. In total, 3402 recordings were retrieved for the analysis. Due to the lack of specialized analysis software, the retrieved recordings were compiled in Excel and presented in Fig. 2.

At the top of Figure 2, the date and time at which the instrument began recording data are visible. The recordings start when the power is turned on in the aircraft. The instrument generates a different recording when only the power is turned on compared to when the engine is started, making it easy to identify the flight.

11	Local Time: 2021/07/20 11:07:07																
12	Date Format: yyyy/mm/dd																
13	ZULU Time: 09:07:07																
14	Engine Hours: 704.78 Hours																
15	Tach Time: 704.48 Hours																
16	Data Logging Interval: 1 sec																
17	TIME	MSTR_WRRPM;RPM	F_FLOW;L	FUEL L;LTF	FUEL R;LTF	VOLTS;V	AMPS;A	M.P.;HG	FUEL P;BA	OIL P;BAR	EGT 1;°F	EGT 2;°F	OIL T;°C	CARB T;°C	CHT 1;°F	CHT 2;°F	
863	11:22:08	0	4950	25	49	48	14.2	1.3	25.5	0.25	3.6	1414	1450	71	17	85	155
864	11:22:09	0	4950	25	49	48	14.2	-1.3	25.5	0.25	3.9	1415	1450	71	17	85	156
865	11:22:11	0	4950	25	49	48	14.2	-0.6	25.5	0.25	4.1	1415	1449	71	17	85	156
866	11:22:12	0	4960	25	49	48	14.2	0.5	25.5	0.25	4.1	1415	1450	72	17	85	156
867	11:22:13	0	4960	26	49	48	14.2	3.1	25.5	0.26	3.8	1415	1450	72	17	85	156
868	11:22:14	0	4960	26	49	48	14.2	2.5	25.5	0.25	3.5	1415	1449	72	17	85	156
869	11:22:15	0	4960	26	49	48	14.1	1.7	25.5	0.25	3.1	1414	1450	72	17	85	157
870	11:22:16	0	4970	26	49	48	14.1	2.8	25.5	0.24	2.9	1414	1451	72	17	85	157
871	11:22:17	0	4970	25	49	48	14.2	0.3	25.5	0.24	3.0	1414	1452	72	18	85	157
872	11:22:18	0	4970	25	49	48	14.2	3.4	25.5	0.25	3.2	1414	1451	72	18	85	157
873	11:22:19	0	4970	25	49	48	14.2	3.1	25.5	0.24	3.4	1414	1451	72	17	85	157
874	11:22:20	0	4970	26	49	48	14.2	-4.0	25.5	0.24	3.1	1414	1450	72	17	85	157
875	11:22:21	0	4980	26	49	48	14.2	0.5	25.4	0.24	3.1	1413	1450	72	18	85	157
876	11:22:22	0	4990	26	49	48	14.2	1.8	25.4	0.24	2.8	1414	1450	72	18	85	158
877	11:22:23	0	4990	26	49	48	14.2	0.0	25.4	0.24	3.3	1414	1450	72	17	85	157
878	11:22:25	0	4990	26	49	48	14.2	1.4	25.4	0.24	3.2	1415	1449	72	17	85	157
879	11:22:26	0	4980	25	49	48	14.2	-2.1	25.4	0.24	3.1	1414	1449	73	17	85	157
880	11:22:27	0	4970	25	49	48	14.2	2.0	25.4	0.24	3.0	1414	1448	73	17	85	157
881	11:22:28	0	4970	25	49	48	14.2	1.1	25.4	0.24	2.9	1413	1447	73	17	85	158

Fig. 2. List of engine operating parameters, computer readout [4]

Below the date, the engine operating hours are recorded. "Engine Time" records the engine's operating time above 350 RPM, while "Tach Time" measures the time above 1190 RPM. During engine operation, the parameters are recorded with a one-second interval, indicating that all parameters are sampled once.

In the lower part of the figure, in row 17, the names of the recorded parameters are listed. An important element in this section is the "MSTR_WR" column, which indicates the triggering of a warning by the instrument. When the value of this parameter changes from 0 to 1, it means that one of the parameters deviates from the values programmed by the user. Therefore, the primary criterion for evaluating the parameters is to check their values when the Master Warning value reaches 1.

1. Engine RPM Check

During the initial analysis of the engine RPM parameter of the SP-EZH aircraft, no exceedances of the limit values that could cause engine damage were observed. Subsequently, an analysis of the engine operation in various phases was conducted. Irregular engine operation at idle was detected in the SP-EZH aircraft. Two engine RPM charts are presented below. In Fig. 3, the engine RPM does not remain constant, with values rapidly changing over time. Figure 4 shows a chart depicting proper engine operation at idle, where the values change smoothly without significant differences between consecutive readings. During the analysis, idle speed adjustment was performed, resulting in engine operation stabilization.

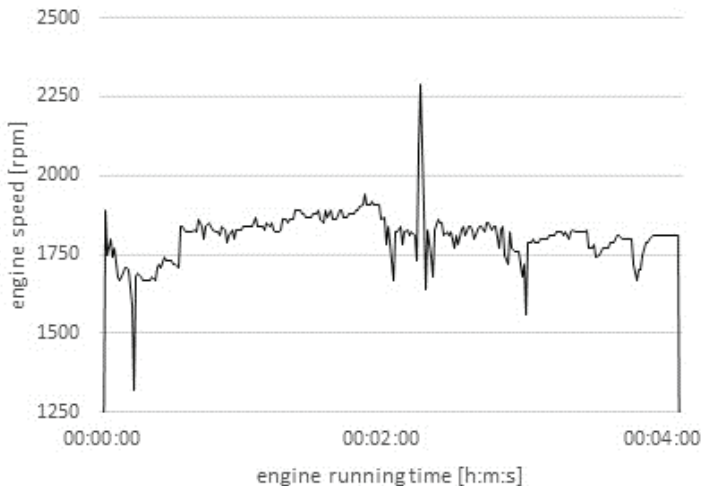


Fig. 3. Uneven idling of the engine [4]

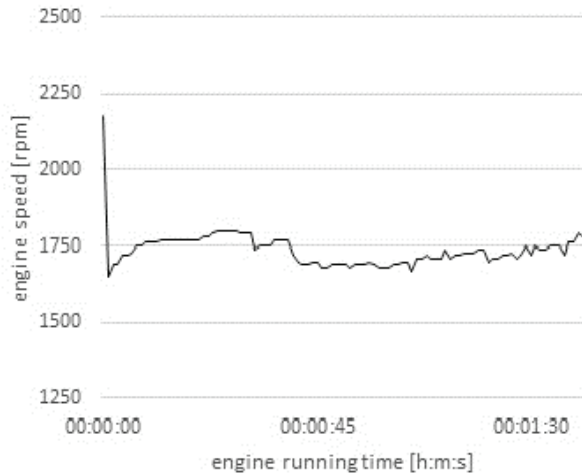


Fig. 4. Proper engine idling [4]

2. Cylinder Head and Exhaust Gas Temperature Check

During the analysis of cylinder head and exhaust gas temperatures, a potential risk of excessively high cylinder head temperatures was identified, which could lead to thermal damage to the pistons and cylinders. However, reports from in-flight operations did not indicate any exceedances of the cylinder head temperature limit values. After a thorough analysis of the MVP-50 instrument recordings and ground engine testing, abnormal operation of one of the sensors was detected. To better illustrate this phenomenon, two charts, Figure 5 and Figure 6, depict the cylinder head temperature values. In Fig. 5, a deviation in the readings of sensor CHT2 compared to sensor CHT1 is noticeable. Based on the accurate readings from sensor CHT1, it can be observed that the readings from sensor CHT2 only approximate the shape of the corresponding parameter values.



Fig. 5. Cylinder head temperature indications with one faulty sensor [4]

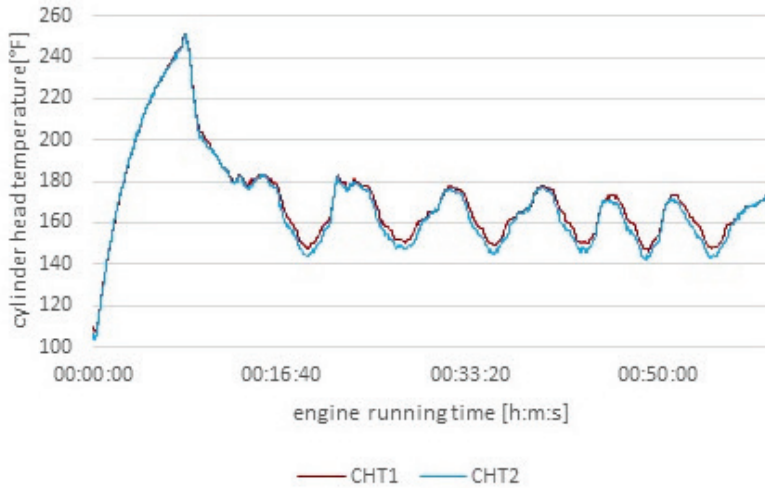


Fig. 6. Correct readings of both cylinder head temperature sensors [4]

Figure 6 presents the cylinder head temperature values after replacing the sensor. A significant improvement in the recording can be observed, where both sensors are functioning correctly and indicate similar values. The minimal differences between the two cylinder heads may be due to the natural flow of cooling air through the engine. By replacing the sensor, adjustments and repairs were made to address measurement inaccuracies, resulting in more accurate readings of the cylinder head temperatures. The current readings from both sensors are consistent and reflect the actual temperature values. This improvement confirms the importance of precise sensor monitoring and maintaining their functionality to obtain accurate cylinder head temperature measurements. Ensuring consistent and reliable measurement data allows for an effective assessment of the engine's condition and minimizes the risk of thermal damage.

3. Comparison of Selected Engine Parameters after One Year of Operation

In the analysis conducted after one year of operation, two flights with similar characteristics were compared: one at the beginning of the operation (Fig. 7) and the other after one year (Fig. 8) to assess the engine's technical condition. The data was obtained from the MVP-50 instrument and subsequently processed on a computer to create a chart of the cylinder head temperature, a key indicator of the engine's technical condition. The main objective of this study was to identify any potential differences in the generated indicators, which may indicate the degree of engine wear during operation and confirm the usefulness of integrated instruments for conducting such analyses.

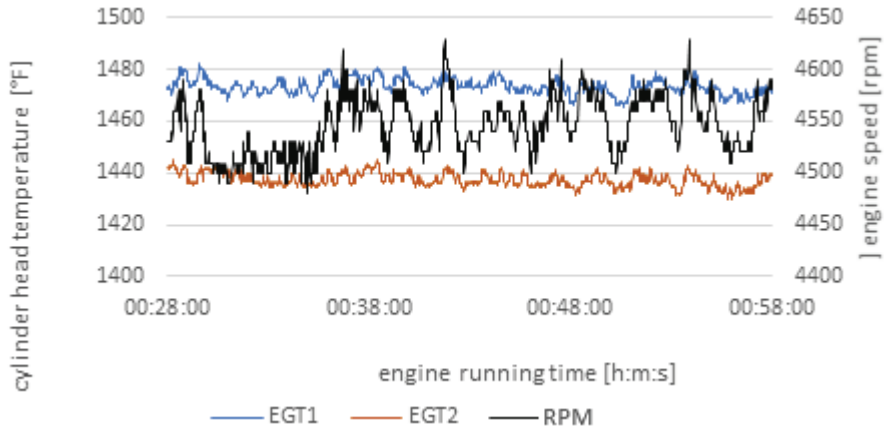


Fig. 7. Exhaust gas temperatures at the start of operation [4]

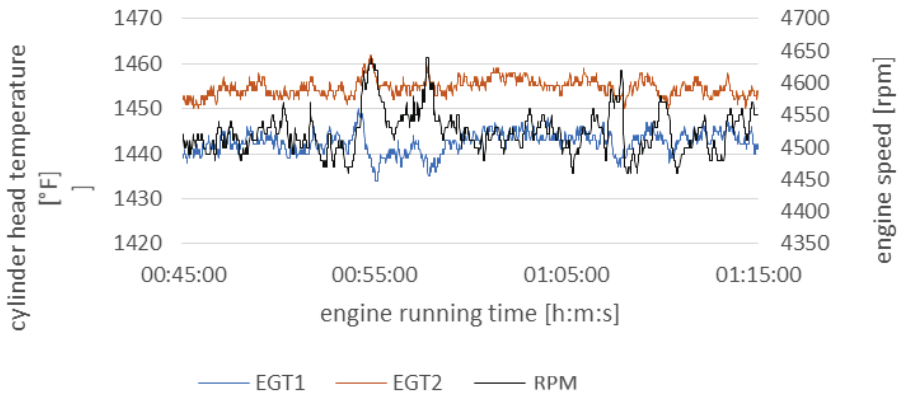


Fig. 8. Exhaust gas temperatures after one year of operation [4]

4. Conclusions and Summary

The presented article focuses on assessing the effectiveness of integrated flight monitoring instruments in overseeing the proper operation of aircraft in general aviation. The analysis conducted in the article demonstrates a positive evaluation of these integrated instruments, which can serve as reliable tools for flight monitoring in general aviation organizations. Based on the collected data, the analysis revealed significant relationships between the examined engine performance parameters and the potential occurrence of damages. Certain patterns of parameter value changes were identified, which could indicate

potential issues. For example, exceeding a specified cylinder head temperature value may signal possible engine overheating, a significant risk factor.

The recordings made by these instruments are reliable and provide valuable data that enable the creation of operational strategies and the detection of potential malfunctions. Furthermore, these instruments can even aid in preventing malfunctions by monitoring changes in aircraft components and systems that may still exhibit functionality but quickly degrade over time. Thus, integrated instruments play a crucial role in aircraft operation oversight.

However, the analysis presented in the article also highlighted certain negative observations. Among them, it is important to consider the lack of equipment enabling quick deciphering of the recorded data. Data collection is time-consuming, and their compilation and comparison require additional effort. Additionally, there is a lack of capability to transmit technical data from the aircraft, limiting swift responses to potential malfunctions.

In summary, integrated flight monitoring instruments in general aviation play a significant and positive role in aircraft operation oversight. However, there is a need for further development of infrastructure and technology to enable faster access to data and swift response to potential malfunctions. Only through these means, effective and efficient flight safety management will be possible in general aviation.

5. References

1. P. Boguszewicz and P. Głowacki, *Aviation piston engines - flight parameter analysis*, Warszawa: Institute of Aviation Department of Space Technologies, 2016.
2. F. Doring, S. Staudacher, and C. Koch, „Predicting the Temporal Progression of Aircraft Engine Compressor Performance Deterioration due to Particle Deposition,“ In Proceedings of the ASME Turbo Expo 2017: Turbomachinery Technical Conference and Exposition, Charlotte, NC, USA, 26–30 June 2017, DOI 10.1115/GT2017-63544.
3. Electronics International Inc., „The MVP-50P Operating Instruction“, 2008. Available: <https://www.iflyei.com/wp-content/uploads/MVP-50P-OI.pdf> [Accessed: Aug 30, 2023].
4. J. Marcinkowski, „Możliwość wczesnej identyfikacji uszkodzeń tłokowego silnika lotniczego na podstawie analizy wybranych parametrów zapisanych przez rejestrator pokładowy“, M. S. Thesis, RT-MGR-263235-2021.pdf.

OCENA EFEKTYWNOŚCI ZESPOLONYCH PRZYRZĄDÓW MONITOROWANIA LOTÓW W KONTEKŚCIE NADZORU NAD PRAWIDŁOWOŚCIĄ EKSPLOATACJI STATKÓW POWIETRZNYCH W LOTNICTWIE OGÓLNYM

1. Wprowadzenie

Monitorowanie parametrów lotu oraz nadzór nad prawidłowością eksploatacji statków powietrznych w lotnictwie ogólnym odgrywają kluczową rolę w zapewnianiu bezpieczeństwa lotów oraz utrzymaniu sprawności statków powietrznych. Z jednej strony, monitorowanie parametrów lotu jest kluczowe dla poprawności eksploatacji statków powietrznych. Z drugiej strony, zespolone przyrządy monitorowania lotów odgrywają podstawową rolę w wykrywaniu niesprawności. Poprzez ciągłe monitorowanie parametrów lotu te zaawansowane technologicznie przyrządy umożliwiają wykrycie nawet drobnych odchyłeń, które mogą wskazywać na potencjalne awarie lub uszkodzenia w statkach powietrznych. Dzięki temu organizacje lotnicze mają możliwość wcześniejszego zidentyfikowania i podjęcia odpowiednich działań naprawczych, co przekłada się na minimalizację ryzyka awarii i zagrożeń dla bezpieczeństwa lotów.

Skuteczne monitorowanie parametrów lotu przy użyciu zespolonych przyrządów pozwala na identyfikację potencjalnych problemów, które mogą wpływać na bezpieczeństwo lotów. Utrzymanie w sprawności statków powietrznych oraz regularne monitorowanie ich parametrów zapewnia pełną kontrolę nad eksploatacją, minimalizując ryzyko nieprawidłowości i awarii.

W artykule skupiono się na ocenie efektywności zespolonych przyrządów monitorowania lotów, ze szczególnym uwzględnieniem systemu monitorującego parametry pracy silnika MVP-50. Do prezentacji posłużyły doświadczenia z eksploatacji samolotów Aero AT 3 należących do Akademickiego Ośrodka Szkoleniowego (ATO) Politechniki Śląskiej, na których zamontowano przyrząd zespolony MVP-50. Analizie poddano zapisy z lotów, które zarejestrowano na tym przyrządzie, aby ocenić, jak skutecznie może przyczynić się do nadzoru nad prawidłowością eksploatacji statków powietrznych w lotnictwie ogólnym. Ostatecznym celem jest dostarczenie informacji na temat

użyteczności takich przyrządów w kontekście bezpieczeństwa lotów oraz utrzymania statków powietrznych w organizacji lotniczej.

2. Metodyka

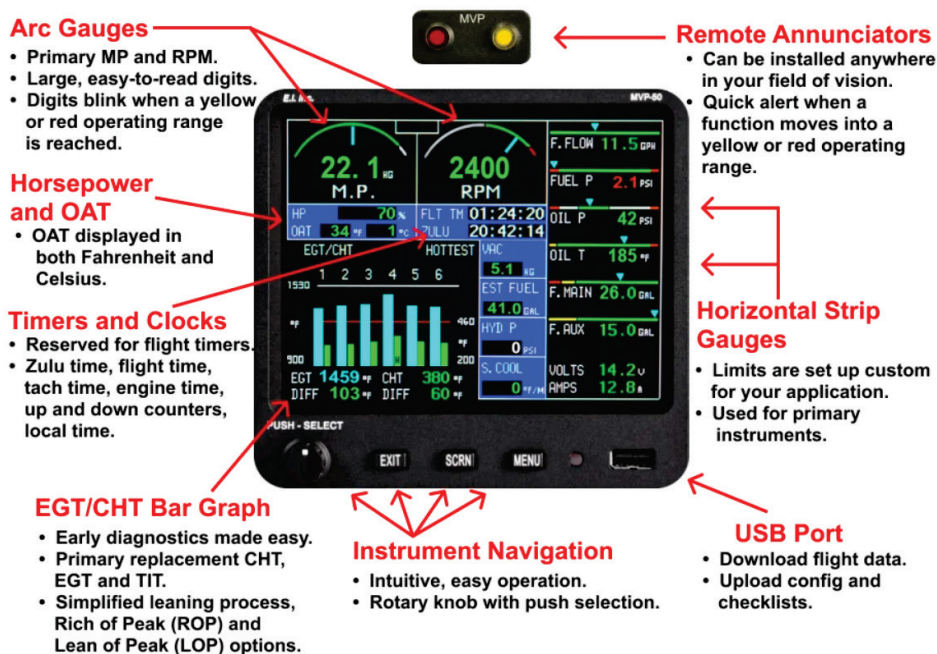
2.1. Monitorowanie parametrów lotu

Monitorowanie parametrów lotu odgrywa kluczową rolę w zapewnieniu bezpieczeństwa i prawidłowej eksploatacji statków powietrznych zarówno w lotnictwie ogólnym, jak i zarobkowym. W sektorze lotnictwa ogólnego istnieje wiele zaawansowanych przyrządów zespolonych, takich jak Garmin G1000, Dynon SkyView czy Aspen Avionics Evolution, które są głównie wykorzystywane w celach pilotowania samolotu. Jednak warto zauważyć, że te przyrządy mają duży potencjał do szerszego wykorzystania w eksploatacji technicznej statków powietrznych. W kontekście nadzoru nad właściwą eksploatacją statków powietrznych, przyrządy zespolone mogą odegrać istotną rolę. Możliwość monitorowania parametrów lotu przy użyciu tych przyrządów pozwala na sprawdzenie stanu technicznego statku powietrznego, weryfikację poprawności działania jego podzespołów oraz ocenę ogólnej wydajności systemów pokładowych [1, 2]. Tego rodzaju monitorowanie daje możliwość wczesnego wykrywania potencjalnych problemów technicznych i podejmowania odpowiednich działań naprawczych przed wystąpieniem awarii. W lotnictwie zarobkowym, gdzie operuje się większymi statkami powietrznymi, wymagania regulacyjne w zakresie monitorowania parametrów lotu są szczególnie rygorystyczne. Organizacje nadzorujące, takie jak Międzynarodowa Organizacja Lotnictwa Cywilnego (ICAO) oraz Federalna Administracja Lotnictwa (FAA), określają wymogi dotyczące monitorowania i raportowania parametrów lotu przez rejestratory parametrów lotu (FDR – Flight Data Recorder), rejestratory rozmów w kabinie (CVR – Cockpit Voice Recorder) oraz systemy zarządzania lotem. Umożliwiają one zbieranie, zapisywanie i analizowanie szczegółowych danych lotu w celu zapewnienia bezpieczeństwa pasażerów i ładunku. Zebrane dane mogą być wykorzystane w procesie badania incydentów lotniczych oraz doskonalenia procedur i standardów bezpieczeństwa. Jednak w lotnictwie ogólnym, gdzie dominują mniejsze samoloty, wykorzystanie zaawansowanych przyrządów zespolonych w eksploatacji technicznej statków powietrznych jest często ograniczone. Małe rozmiary samolotów oraz ograniczenia finansowe powodują, że instalacja kosztownych systemów monitorowania parametrów lotu staje się niepraktyczna. Niemniej, istnieje potrzeba opracowania rozwiązań technicznych dostosowanych do specyfiki lotnictwa ogólnego, umożliwiających efektywne monitorowanie i nadzór nad właściwą eksploatacją statków powietrznych bez nadmiernego obciążenia finansowego.

2.2. System monitorujący parametry pracy silnika MVP-50

W celu oceny efektywności zastosowania zespolonych przyrządów monitorowania lotów w kontekście nadzoru nad prawidłowością eksploatacji statków powietrznych w lotnictwie ogólnym dokonywano odczytu z zapisów systemu monitorującego parametry pracy silnika MVP-50 zamontowanego na samolotach ATO Politechniki Śląskiej.

Przyrząd MVP-50 to zaawansowany system monitorujący parametry pracy silnika, szeroko stosowany w lotnictwie ogólnym. Jego główne przeznaczenie to dostarczanie pilotom istotnych informacji dotyczących parametrów lotu i stanu statku powietrznego w czasie rzeczywistym. MVP-50 może być wykorzystywany do monitorowania parametrów lotu zarówno na samolotach wielosilnikowych, jak i śmigłowcach. MVP-50 jest zainstalowany w kokpicie samolotu.



Rys. 9. MVP-50P Zespolony przyrząd monitorujący pracę silnika [3]

Przyrząd wyposażony jest w wyświetlacz dotykowy o wysokiej rozdzielczości, który umożliwia łatwe interakcje i dostęp do różnych funkcji. Zawiera wiele sensorów, które zbierają dane z różnych systemów statku powietrznego, takich jak parametry silnikowe, gospodarka paliwowa, praca instalacji elektrycznej, ale również parametry pilotażowe, takie jak prędkość, wysokość, kąt nachylenia, dane nawigacyjne i wiele innych. Monitoruje i wyświetla na bieżąco różnorodne dane lotu, umożliwiając pilotowi kontrolę nad stanem

statku powietrznego i odpowiednie reagowanie na zmiany. Przyrząd może również generować ostrzeżenia i alarmy, takie jak ostrzeżenie o niskim poziomie paliwa, wysokiej temperaturze silnika, przekroczeniu dopuszczalnych wartości prędkości itp. Przyrząd MVP-50 ma wbudowaną pamięć, która pozwala na zapisywanie danych z lotów. Dane są zapisywane w pamięci przyrządu i mogą, po zakończeniu lotu, być odczytane w celu analizy i monitorowania eksploatacji. Przed lotem pilot powinien odpowiednio skonfigurować przyrząd zgodnie z wymaganiami lotu i preferencjami. Można ustawić pożądane jednostki miary, konfigurację wyświetlacza, preferowane alarmy i ostrzeżenia oraz inne parametry dostępne w menu ustawień. Przyciski i pokrętki na pulpicie służą do nawigacji po menu i wykonywania operacji w przyrządzie. Wyświetlane dane są prezentowane na wysokiej jakości wyświetlaczu dotykowym, który umożliwia intuicyjne sterowanie i odczytywanie informacji w czasie rzeczywistym. Na wyświetlaczu można dostosowywać układ, wybierać wyświetlane parametry, zmieniać tryby prezentacji, na takie jak wykresy, wskaźniki, tabele itp. Przyrząd MVP-50 zapewnia pilotowi szeroki zakres informacji dotyczących lotu i stanu statku powietrznego. Dzięki temu pilot może monitorować parametry lotu, diagnozować awarie, podejmować odpowiednie decyzje nawigacyjne i utrzymać prawidłową eksploatację statku powietrznego. Warto zauważyć, że konkretne parametry wyświetlane przez MVP-50 mogą się różnić w zależności od konfiguracji statku powietrznego, na którym jest zainstalowany oraz dostępności i konfiguracji sensorów. Przyrząd jest projektowany tak, aby dostarczać pilotażowe, płatowcowe i silnikowe informacje, które są istotne dla bezpiecznego i prawidłowego lotu.

3. Wyniki i dyskusja

3.1. Analiza wybranych parametrów lotu

Analiza przeprowadzona w ramach badań koncentrowała się na parametrach pracy silnika, które mają istotne znaczenie dla oceny stanu technicznego i wykrywania potencjalnych problemów. W szczególności skupiono się na prędkości obrotowej, temperaturach głowic cylindrów oraz temperaturach gazów wylotowych. Zapisy tych parametrów zostały pobrane z przyrządu MVP-50 i analizowane w celu identyfikacji ewentualnych zależności i wzorców, które mogą wpływać na potencjalne uszkodzenia jednostki napędowej. W badaniu uwzględniono trzy różne samoloty, które były poddawane analizie. Pierwszym z nich był samolot o rejestracji SP-AVA, z którego pobrano zapisy z 981 lotów, a silnik pracował przez 858 godzin. Kolejnym samolotem był SP-PBC, z którego pobrano 1163 zapisy, a silnik był eksploatowany przez 911 godzin. Trzeci samolot, oznaczony jako SP-EZH, był najdłużej eksploatowany, ostatni 1258. zapis wskazywał na 1082 godziny pracy silnika. Łącznie na potrzeby analizy pobrano 3402

zapisy. Z powodu braku specjalistycznego programu do analizy pobrane zapisy zestawiono w programie Excel i zaprezentowano na rys. 2.

Rysunek 2 pokazuje tabelę z parametrami pracy silnika. W górnej części jest data i godzina, w której przyrząd rozpoczął zapisywanie danych. W momencie włączenia zasilania w samolocie, czynność zostaje zapisana w pamięci przyrządu. Pod datą zapisane są godziny pracy silnika. Engine Time odpowiada za zapisywanie czasu pracy silnika w zakresie powyżej 350 obr/min, natomiast Tach Time mierzy czas powyżej 1190 obr/min. Podczas pracy silnika parametry są zapisywane z ustawionym interwałem czasowym (w prezentowanym zapisie jednej sekundy).

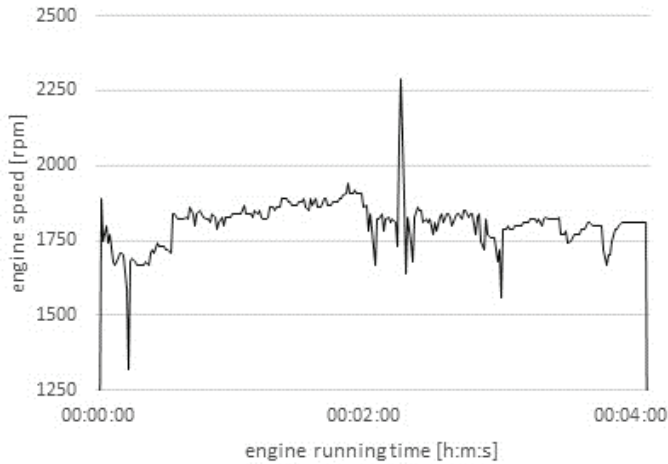
W dolnej części – wiersz 17 – znajdują się nazwy parametrów danych. Ważnym elementem w tej części jest kolumna MSTR_WR, która wskazuje na wysłanie ostrzeżenia przez przyrząd. Zmiana wartości z 0 na 1, oznacza to, że któryś z parametrów odbiega od wartości zaprogramowanych przez użytkownika. Dlatego podstawowym kryterium oceny parametrów jest sprawdzenie ich wartości, gdy wartość ostrzeżenia Master Warning osiągnie 1.

11	Local Time: 2021/07/20 11:07:07																														
12	Date Format: yyyy/mm/dd																														
13	ZULU Time: 09:07:07																														
14	Engine Hours: 704.78 Hours																														
15	Tach Time: 704.48 Hours																														
16	Data Logging Interval: 1 sec																														
17	TIME	MSTR_WR	RPM	RPM	F_FLOW	L_FUEL	LTR	FUEL_R	LT	VOLTS	V	AMPS	A	M.P.	HG	FUEL P	BA	OIL P	BAR	EGT 1	*F	EGT 2	*F	OIL T	*C	CARB T	*C	CHT 1	*F	CHT 2	*F
863	11:22:08	0	4950	25	49	48	14.2	1.3	25.5	0.25	3.6	1414	1450	71	17	85	155														
864	11:22:09	0	4950	25	49	48	14.2	-1.3	25.5	0.25	3.9	1415	1450	71	17	85	156														
865	11:22:11	0	4950	25	49	48	14.2	-0.6	25.5	0.25	4.1	1415	1449	71	17	85	156														
866	11:22:12	0	4960	25	49	48	14.2	0.5	25.5	0.25	4.1	1415	1450	72	17	85	156														
867	11:22:13	0	4960	26	49	48	14.2	3.1	25.5	0.26	3.8	1415	1450	72	17	85	156														
868	11:22:14	0	4960	26	49	48	14.2	2.5	25.5	0.25	3.5	1415	1449	72	17	85	156														
869	11:22:15	0	4960	26	49	48	14.1	1.7	25.5	0.25	3.1	1414	1450	72	17	85	157														
870	11:22:16	0	4970	26	49	48	14.1	2.8	25.5	0.24	2.9	1414	1451	72	17	85	157														
871	11:22:17	0	4970	25	49	48	14.2	0.3	25.5	0.24	3.0	1414	1452	72	18	85	157														
872	11:22:18	0	4970	25	49	48	14.2	3.4	25.5	0.25	3.2	1414	1451	72	18	85	157														
873	11:22:19	0	4970	25	49	48	14.2	3.1	25.5	0.24	3.4	1414	1451	72	17	85	157														
874	11:22:20	0	4970	26	49	48	14.2	-4.0	25.5	0.24	3.1	1414	1450	72	17	85	157														
875	11:22:21	0	4980	26	49	48	14.2	0.5	25.4	0.24	3.1	1413	1450	72	18	85	157														
876	11:22:22	0	4990	26	49	48	14.2	1.8	25.4	0.24	2.8	1414	1450	72	18	85	158														
877	11:22:23	0	4990	26	49	48	14.2	0.0	25.4	0.24	3.3	1414	1450	72	17	85	157														
878	11:22:25	0	4990	26	49	48	14.2	1.4	25.4	0.24	3.2	1415	1449	72	17	85	157														
879	11:22:26	0	4980	25	49	48	14.2	-2.1	25.4	0.24	3.1	1414	1449	73	17	85	157														
880	11:22:27	0	4970	25	49	48	14.2	2.0	25.4	0.24	3.0	1414	1448	73	17	85	157														
881	11:22:28	0	4970	25	49	48	14.2	1.1	25.4	0.24	2.9	1413	1447	73	17	85	158														

Rys. 10. Wykaz parametrów pracy silnika, odczyt na komputerze [4]

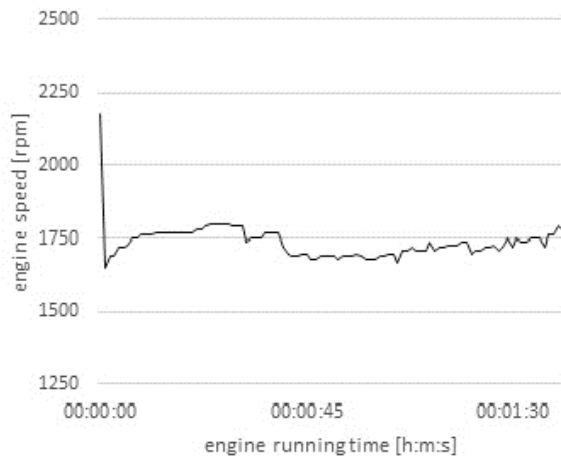
1. Sprawdzenia prędkości obrotowej silnika

Na samolocie SP-EZH przeprowadzono analizę sprawności silnika w różnych fazach pracy. Wykryto nieregularną pracę silnika na biegu jałowym. Rysunek 3 przedstawia brak stabilizacji prędkości obrotowej na stałym poziomie – wartości gwałtownie się zmieniają w czasie.



Rys. 11. Nierówna praca silnika na biegu jałowym [4]

Rysunek 4 przedstawia prawidłową pracę silnika na biegu jałowym, gdzie wartości zmieniają się łagodniej, bez większych różnic między kolejnymi odczytami. W trakcie analizy wykonano regulację biegu jałowego, co wpłynęło na stabilizację pracy silnika.

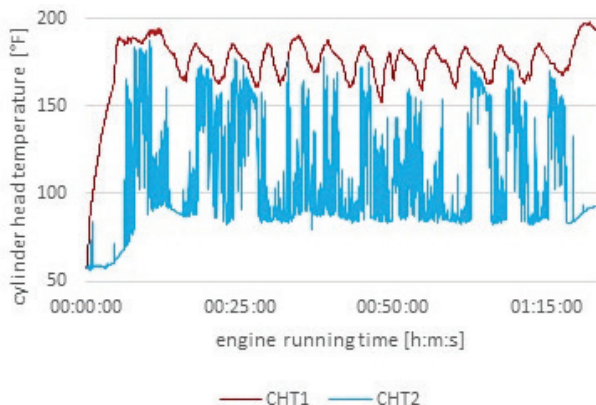


Rys. 12. Prawidłowa praca silnika na biegu jałowym [4]

2. Sprawdzenie temperatury głowic cylindrów oraz gazów wylotowych

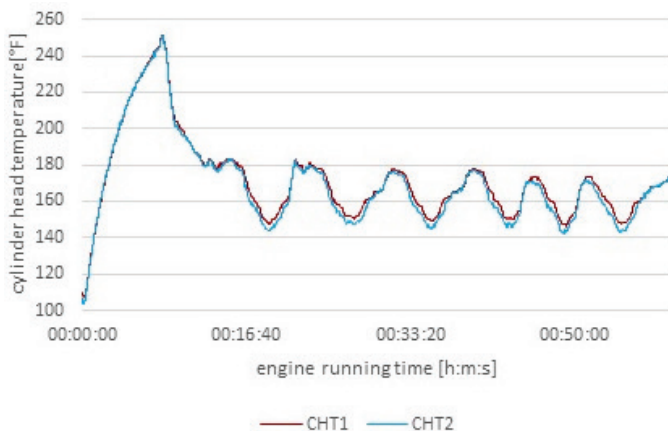
Analiza temperatury głowic cylindrów oraz gazów wylotowych wykazała potencjalne zagrożenie związane z nadmiernie wysoką temperaturą głowic cylindrów, co może prowadzić do uszkodzeń termicznych tłoków oraz cylindrów. Jednak raporty z eksploatacji w powietrzu nie wykazywały żadnych przekroczeń. Po dokładnej analizie zapisów przyrządu MVP 50 oraz próby silnika na ziemi stwierdzono nieprawidłową pracę jednego

z czujników. Rysunek 5 przedstawia odchylenie wskazań czujnika CHT2 w porównaniu do czujnika CHT1.



Rys. 13. Wskazania temperatury głowic cylindrów z jednym niesprawnym czujnikiem [4]

Rysunek 6 natomiast pokazuje jak powinny przebiegać poprawnie zapisane odczyty z obu czujników. Przebieg ten uzyskano po wymianie czujnika.



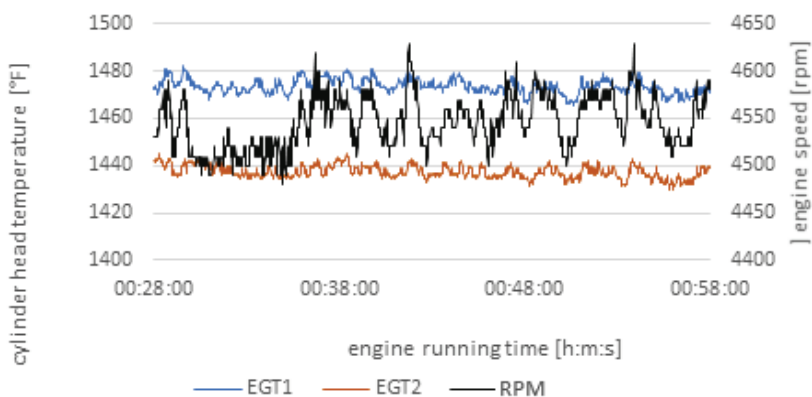
Rys. 14. Prawidłowe wskazania obu czujników temperatury głowic cylindrów [4]

Można zauważyć znaczną poprawę zapisu, gdzie oba czujniki działają poprawnie i wskazują zbliżone wartości. Minimalne różnice między dwiema głowicami mogą być wynikiem naturalnego przepływu powietrza chłodzącego przez silnik. W wyniku wymiany czujnika dokonano korekcy i naprawy niedokładności pomiarowych, co miało pozytywny wpływ na poprawność odczytów temperatury głowic cylindrów. Aktualne wskazania obu czujników są spójne i odzwierciedlają rzeczywiste wartości temperatury. Ta poprawa

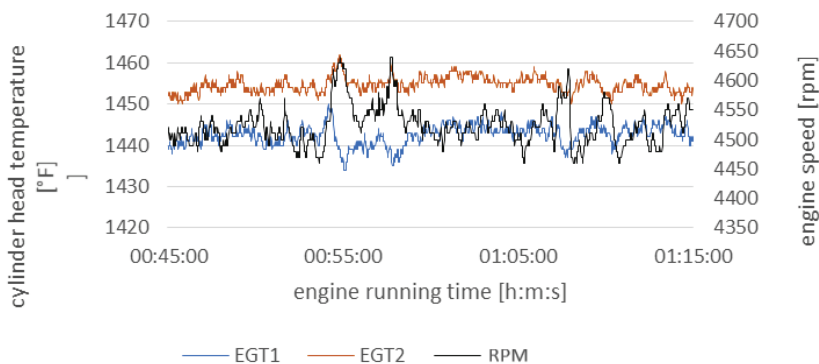
potwierdza znaczenie dokładnego monitorowania czujników oraz konieczność utrzymywania ich sprawności. Zapewnienie spójnych i wiarygodnych danych pomiarowych pozwala na poprawną ocenę stanu silnika oraz minimalizację ryzyka uszkodzeń termicznych.

3. Porównanie wybranych parametrów pracy silnika po roku eksploatacji

W analizie przeprowadzonej po upływie jednego roku eksploatacji zestawiono dwa loty o podobnym charakterze, pierwszy z początku eksploatacji (rys. 7) drugi po roku (rys. 8). Celem tego było porównanie stanu technicznego silnika. Dane pozyskano z przyrządu MVP-50, a następnie na komputerze opracowano wykres zmiany temperatury głowicy cylindrów, który jest kluczowym wskaźnikiem stanu technicznego silnika. Głównym celem tego badania było zidentyfikowanie ewentualnych różnic w generowanych wskaźnikach, które mogą wskazywać na stopień zużycia silnika w trakcie eksploatacji oraz potwierdzenie przydatności przyrządów zespolonych do przeprowadzenia analizy.



Rys. 15. Temperatury gazów wylotowych na początku eksploatacji [4]



Rys. 16. Temperatury gazów wylotowych po roku eksploatacji [4]

4. Wnioski i podsumowanie

W artykule skupiono się na ocenie efektywności zespolonych przyrządów monitorowania lotów w kontekście nadzoru nad prawidłowością eksploatacji statków powietrznych w lotnictwie ogólnym. Analiza przeprowadzona w ramach artykułu wykazuje pozytywną ocenę zespolonych przyrządów, które mogą stanowić niezawodne narzędzia do monitorowania lotów w organizacji lotniczej lotnictwa ogólnego. Analiza przeprowadzona na podstawie zgromadzonych danych wykazała istotne zależności między badanymi parametrami pracy silnika a możliwością wystąpienia uszkodzeń. Na podstawie zebranych informacji, zidentyfikowano pewne wzorce zmian wartości parametrów, które mogą wskazywać na potencjalne problemy. Przykładowo, przekroczenie określonej wartości temperatury głowic cylindrów może sygnalizować możliwe przegrzewanie silnika, co jest istotnym czynnikiem ryzyka.

Zapisy dokonywane przez te przyrządy są wiarygodne i stanowią wartościowe dane, które umożliwiają tworzenie strategii eksploatacyjnych oraz wykrywanie ewentualnych niesprawności. Ponadto, za pomocą tych przyrządów możliwe jest nawet zapobieganie niesprawnościom poprzez monitorowanie zmian w agregatach i systemach samolotów, które mogą nadal wykazywać sprawność, ale szybko degradować się w czasie. W ten sposób zespolone przyrządy odgrywają istotną rolę w nadzorze nad eksploatacją statków powietrznych.

Jednakże przedstawiona w artykule analiza wykazała również pewne negatywne spostrzeżenia. Wśród nich należy uwzględnić brak osprzętu umożliwiającego szybką deszyfrację zapisanych danych. Aktualnie gromadzenie danych jest czasochłonne, a ich zestawienie i porównanie wymaga dodatkowego nakładu pracy. Ponadto, istnieje brak możliwości przesyłania danych technicznych z powietrza, co ogranicza szybką reakcję na ewentualne niesprawności.

Podsumowując, zespolone przyrządy monitorowania lotów w lotnictwie ogólnym odgrywają istotną i pozytywną rolę w nadzorze nad eksploatacją statków powietrznych. Jednak, istnieje potrzeba dalszego rozwoju infrastruktury i technologii w celu umożliwienia szybszego dostępu do danych oraz szybkiej reakcji na ewentualne niesprawności. Tylko w ten sposób możliwe będzie skuteczne i efektywne zarządzanie bezpieczeństwem lotów w lotnictwie ogólnym.

5. Literatura

1. P. Boguszewicz and P. Głowacki, Aviation piston engines - flight parameter analysis, Warszawa: Institute of Aviation Department of Space Technologies, 2016.

2. F. Doring, S. Staudacher, and C. Koch, „Predicting the Temporal Progression of Aircraft Engine Compressor Performance Deterioration due to Particle Deposition,“ In Proceedings of the ASME Turbo Expo 2017: Turbomachinery Technical Conference and Exposition, Charlotte, NC, USA, 26–30 June 2017, DOI 10.1115/GT2017-63544.
3. Electronics International Inc., „The MVP-50P Operating Instruction“, 2008. Available: <https://www.iflyei.com/wp-content/uploads/MVP-50P-OI.pdf> [Accessed: Aug 30, 2023].
4. J. Marcinkowski, „Możliwość wczesnej identyfikacji uszkodzeń tłokowego silnika lotniczego na podstawie analizy wybranych parametrów zapisanych przez rejestrator pokładowy”, M. S. Thesis, RT-MGR-263235-2021.pdf.