



Mobilne stanowisko przygotowania i obsługi miniaturowych turbinowych silników odrzutowych *Zestawu odrzutowych celów powietrznych ZOCP-JET2*

RYSZARD CHACHURSKI, ŁUKASZ OMEN,
ANDRZEJ J. PANAS, PIOTR ZALEWSKI

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechatroniki, Uzbrojenia i Lotnictwa,
ul. gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, ryszard.chachurski@wat.edu.pl,
lukasz.omen@wat.edu.pl, andrzej.panas@wat.edu.pl, piotr.zalewski@wat.edu.pl

Streszczenie. W pracy przedstawiono opis funkcjonowania i konstrukcji naziemnego stanowiska do monitorowania stanu technicznego miniaturowych turbinowych silników odrzutowych o ciągu nieprzekraczającym 200 N, wykorzystywanych m.in. do napędu zdalnie sterowanych modeli latających i wojskowych bezzałogowych statków powietrznych. Przyczyną rozpoczęcia prac był brak ujednoczonych procedur pozwalających na jednoznaczną ocenę przydatności eksploatacyjnej badanych silników klasy mini, a także istotne ograniczenia użytkowe istniejących platform badawczych. W celu uzupełnienia zidentyfikowanych braków w tym zakresie zaproponowano budowę autorskiego systemu pomiarowego. Zasadniczym elementem całego systemu było naziemne stanowisko pomiarowe. Oprócz wymagań funkcjonalnych — wynikających z przyjętych procedur pomiarowych — konstrukcja stanowiska wiązała się z wieloma dodatkowymi wymogami dotyczącymi bezpieczeństwa użytkownika, ograniczeń masowo-geometrycznych itp. Ich spełnienie otworzyło możliwość eksperymentalnego sprawdzenia poprawności funkcjonowania stanowiska podczas pracy w różnych warunkach otoczenia: zarówno laboratoryjnych, jak i poligonowych. Pozytywny rezultat sprawdzeń pozwolił na zakwalifikowanie zbudowanego stanowiska jako części składowej systemu odrzutowych celów powietrznych z programowaną trasą lotu pn. *Zestaw odrzutowych celów powietrznych ZOCP-JET2*, zrealizowanego w ramach projektu badawczego finansowanego ze środków NCBiR.

Słowa kluczowe: monitorowanie stanu technicznego, miniaturowe turbinowe silniki odrzutowe, stanowisko obsługi

DOI: 10.5604/01.3001.0015.3819

1. Wprowadzenie

Stanowisko przygotowania i obsługi miniaturowych turbinowych silników, w skrócie SPOS, powstało w ramach realizacji projektu pt. *Zestaw odrzutowych celów powietrznych z programowalną trasą lotu*, finansowanego ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju (NCBiR). W skład zestawu oznaczonego skrótem ZOCP-JET2 wchodzi bezpilotowe statki powietrzne, zwane odrzutowymi celami powietrznymi OCP, pełniące rolę celów powietrznych, stanowisko kierowania, stanowisko startowe (wyrzutnia), stanowisko obsługi samolotów oraz przedmiotowe stanowisko do obsługi silników napędzających samoloty (dwa silniki stanowią napęd samolotu-celu). Zestaw ZOCP-JET2 został zaprojektowany do szkolenia załóg naziemnych systemów przeciwlotniczych. Samolot-cel ma symulować lot podźwiękowego samolotu bojowego (prędkość celu to ok. 150 m/s, pułap ok. 5000 m). Aby uzyskać wymienione parametry lotu, konieczne było zastosowanie do napędu samolotu silników turbinowych. Wprawdzie na rynku dostępne są miniaturowe turbinowe silniki odrzutowe o ciągu rzędu 100-300 N, ale są one zasadniczo przeznaczone do napędu amatorskich modeli latających, w konsekwencji żaden z producentów nie oferuje systemu monitorowania stanu technicznego silnika.

W przypadku zestawu ZOCP-JET2 zastosowanie miniaturowych turbinowych silników odrzutowych, w skrócie MTSO, do napędu bezzałogowych statków powietrznych wymusiło konieczność opracowania systemu i procedur monitorowania ich stanu technicznego, co stanowiło zasadniczą motywację podjęcia prac. Ważną kwestią w eksploatacji MTSO (podobnie zresztą jak w eksploatacji każdego innego urządzenia technicznego) jest to, aby odbywała się ona w sposób bezpieczny dla obsługi i osób postronnych, przy jednoczesnym zagwarantowaniu wszelkich niezbędnych cech umożliwiających efektywną realizację stawianych im zadań. W tym celu przed dopuszczeniem silnika do eksploatacji oraz w jej trakcie wykonywane są rozmaite sprawdzenia w postaci eksperymentalnych pomiarów badawczych oraz analizy rezultatów. Tak rozumiany dozór stanu technicznego silników jest możliwy dzięki wykorzystaniu specjalizowanych środków realizacji pomiarów badawczych, tj. platform pomiarowych, hamowni silnikowych czy laboratoryjnych układów badawczych, spełniających apriorycznie przyjęte założenia użytkowania [2, 3, 11]. Istotnym problemem w prowadzeniu nadzorowanej eksperymentalnie eksploatacji MTSO jest jednak brak krajowych rozwiązań konstrukcyjnych umożliwiających pozyskanie zestawu komplementarnych danych diagnostycznych. Z kolei istniejące zagraniczne platformy badawcze cechuje wiele rygorystycznych ograniczeń. Między innymi możliwość badania tylko wybranego rodzaju silnika, przeznaczonego dla konkretnego stanowiska, bez możliwości jego adaptacji na potrzeby wykonywania badań innych MTSO, arbitralnie narzucony program badawczy obejmujący pomiary z góry narzuconych parametrów oraz możliwość prowadzenia badań

jedynie w warunkach laboratoryjnych. W dodatku koszty zakupu tych stanowisk niejednokrotnie są dziesiątki razy większe niż koszty badanych napędów. Wobec ujawnionych problemów jedyną możliwością monitorowania stanu technicznego MTSO na drodze pomiarów badawczych okazało się zaprojektowanie i budowa nowego stanowiska przygotowania i obsługi silników (SPOS) tego rodzaju.

2. Wymagania techniczne i koncepcja stanowiska SPOS

Analiza warunków i parametrów pracy MTSO zabudowanego na samolocie-celu powietrznym umożliwiła sformułowanie wymagań stawianych nowo projektowanemu SPOS [14]. Zaprojektowane stanowisko powinno umożliwić:

- montaż i podłączenie MTSO;
- uruchomienie i sterowanie pracą MTSO;
- pomiar wybranych charakterystyk MTSO:
 - ciągu,
 - prędkości obrotowej,
 - temperatury gazów wylotowych,
 - napięcia zasilania pompy paliwowej,
 - objętościowego wydatku paliwa,
 - poziomu drgań w osi podłużnej MTSO,
- ocenę stanu technicznego MTSO;
- archiwizację badanych charakterystyk MTSO.

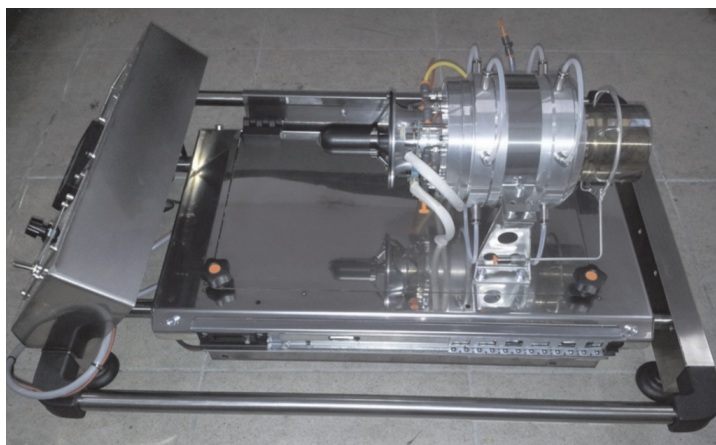
Po ustaleniu zakresu prowadzonych pomiarów badawczych oraz procedur pomiarowych, określających podstawowe funkcjonalności pomiarowe nowo projektowanego stanowiska, przystąpiono do realizacji wstępnych prac konstrukcyjnych. Polegały one na zdefiniowaniu ogólnych i szczegółowych cech konstrukcji stanowiska. Wśród wymagań ogólnych najważniejsze były ograniczenia masowo-geometryczne, które należało dobrać w taki sposób, aby zapewnić łatwy transport urządzenia. Z kolei sformułowane wymagania szczegółowe miały na celu rozszerzenie funkcjonalności użytkowych SPOS (mobilność stanowiska, możliwość pracy w różnorodnych warunkach zewnętrznych) oraz zagwarantowanie bezpieczeństwa podczas jego eksploatacji (patrz tabela 1). Uwzględniając wszelkie wymagania, opracowano dokumentację techniczną, według której przystąpiono do realizacji zasadniczych prac konstrukcyjnych.

Stanowisko bazowało na hamowni zaprojektowanej i wyprodukowanej przez firmę JetPol (rys. 1-2), a następnie zostało przebudowane, by spełnić wymagania projektu. Prototyp stanowiska zbudowano w Wojskowym Centralnym Biurze Konstrukcyjno-Technologicznym WCBKT w Warszawie.

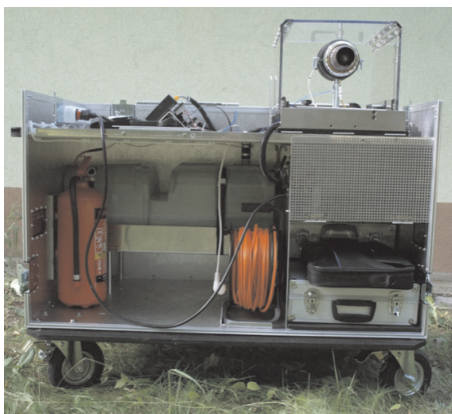
TABELA 1

Ogólne i szczegółowe wymagania SPOS

Wymagania ogólne:		Wymagania szczegółowe:
długość [mm]	1200 ±10	<ul style="list-style-type: none"> — zabezpieczenie przeciwpożarowe i przeciwporażeniowe; — możliwość pracy w przypadku awarii zewnętrznego źródła zasilania w energię elektryczną; napięcie na wejściu 220 V; napięcia wyjściowe w zależności od potrzeb odbiornika; — możliwość awaryjnego odłączenia zasilania w energię elektryczną w przypadku zaistnienia sytuacji niebezpiecznych; — wysoka mobilność stanowiska; — możliwość pracy w różnych warunkach zewnętrznych.
szerokość [mm]	805 ±10	
wysokość [mm]	1360 ±10	
masa [kg]	220	
pojemność zbiornika paliwa [dm ³]	52	
temperaturowy zakres pracy [°C]	-0, 40	



Rys. 1. Stanowisko badawcze z zamontowanym silnikiem GTM140 bazujące na hamowni firmy JetPol



Rys. 2. Prototyp stanowiska z zamontowanym silnikiem JetCat P140 RX (konfiguracja robocza do badań silnika)

3. Badania testowe i kwalifikacyjne SPOS

Zgodnie z umową z NCBiR Zestaw odrzutowych celów powietrznych z programowaną trasą lotu ZOCP-JET2, w tym stanowisko SPOS, miał osiągnąć dziewiąty poziom gotowości technologicznej¹, oznaczający przekazanie finalnego produktu do użytkowania przez MON po zakończeniu trwania projektu. W konsekwencji cały system, który obejmował m.in.: samoloty, stanowisko kierowania, stanowisko startowe samolotów, stanowisko obsługi samolotów-celów powietrznych oraz przedmiotowe stanowisko przygotowania i obsługi silników SPOS, podlegał testom i badaniom kwalifikacyjnym. Nad badaniami czuwał Zespół nadzorujący projekt powołany na czas realizacji projektu decyzją Ministerstwa Obrony Narodowej. Dla potrzeb badań kwalifikacyjnych SPOS opracowano i zatwierdzono stosowną metodykę badań, zgodnie z którą realizowano kolejne testy i badania. Badania kwalifikacyjne prowadzono na Centralnym Poligonie Sił Powietrznych, w skrócie CPSP Ustka-Wicko Morskie w Ustce, gdzie zestaw będzie docelowo eksploatowany.



Rys. 3. Widok stanowiska SPOS podczas badań wstępnych na Centralnym Poligonie Sił Powietrznych w Ustce (Wicko Morskie, czerwiec 2016 r.)

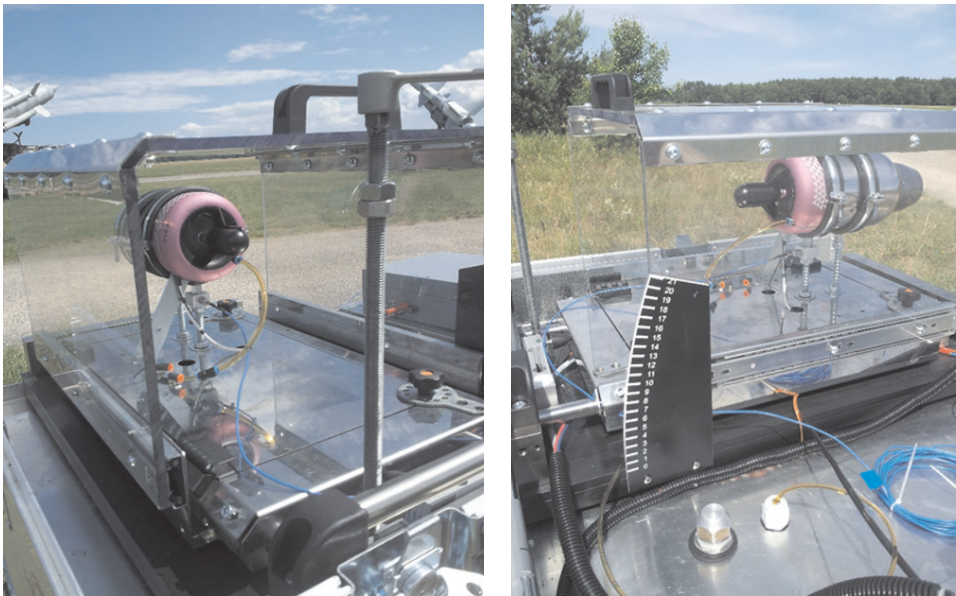
Badania kwalifikacyjne poprzedzono badaniami wstępnymi, które przeprowadzono w pierwszych tygodniach czerwca 2016 r. na terenie WAT, a następnie 20-30 czerwca na poligonie w Ustce. Na poligonie testowano cały system, prowadzono m.in. próby w locie samolotów w dzień i w nocy. Etap ten obejmował także sprawdzenie funkcjonowania SPOS oraz badania silników firmy JetCat napędzających odrzutowe cele powietrzne OCP. Na rysunkach 3-4 przedstawiono widok stanowiska SPOS podczas badań poligonowych. Przebadano dwanaście egzemplarzy silników JetCat serii P140 RX. Zostały sprawdzone zarówno przed lotem, jak i po locie OCP.

¹ Poziom IX to najwyższy poziom gotowości technologicznej. Opracowana technologia działa, a powstały produkt jest gotowy do produkcji i sprzedaży na skalę przemysłową.

Próby wykonano także przy położeniach silnika imitujących położenie samolotu na wyrzutni startowej. Dla jednego z nich przeprowadzono godzinną próbę sprawdzenia parametrów stanu silnika po jego pożarze (silnik zapalił się podczas uruchomienia, a powodem był chwilowy brak-zanik zasilania SPOS w energię elektryczną).

W badaniach uczestniczył Zespół nadzorujący, który wyniki badań wraz z uwagami przedstawił w *Protokole badań wstępnych elementów zestawu odrzutowych celów powietrznych z programowaną trasą lotu ZOCP-JET2*. W dokumencie sformułowano następujące uwagi dotyczące SPSO, zalecono m.in.:

- zabudowanie standardowego wlewu paliwa o średnicy min. 25 mm i dodatkowe odpowietrzenie zbiornika paliwa;
- zabudowanie wskaźników i wyświetlaczy pracy silnika w pulpicie sterowania;
- uziemienie stanowska;
- modernizację i usztywnienia płyty-podstawy, do której montowane są obejmy silnika;
- wyposażenie stanowiska w awaryjne źródła zasilania elektrycznego UPS (wniosek po pożarze silnika);
- doposażenie w gaśnicę śniegową (wniosek po pożarze silnika).



Rys. 4. Silnik JetCat podczas badań „kątowych” symulujących położenie samolotu na wyrzutni startowej (Wicko Morskie, czerwiec 2016 r.)

Po wprowadzeniu do stanowiska wyżej przytoczonych zmian 26-30 września 2016 r. na CPSP przeprowadzone zostały uzupełniające badania wstępne, obejmujące sprawdzenie funkcjonowania stanowiska SPOS oraz dalsze badania silników firmy JetCat 140 RX. Zespół nadzorujący sformułował i przekazał kolejne uwagi do stanowiska, które tym razem wymagały jego znacznej modernizacji. Na przełomie roku 2017 i 2018 w Wojskowym Centralnym Biurze Konstrukcyjno-Technologicznym wykonano modernizację SPOS, a zmiany dotyczyły zasadniczo (rys. 5):

- zastosowania laptopa przeznaczonego do eksploatacji w warunkach poligonowych;
- wykonania zintegrowanego pulpitu sterowania;
- zainstalowania wyłącznika bezpieczeństwa, który umożliwia awaryjne odłączenie zasilania instalacji elektrycznej;
- zainstalowania zaworu i przewodu spustu paliwa ze zbiornika;
- zastosowania złączy i przewodów elektrycznych przeznaczonych do pracy w warunkach poligonowych;
- zastosowania nowego okablowania z koszulkami izolacyjnymi;
- wykonania oznaczeń wyłączników i kontroltek;
- zaprojektowania i zbudowania nowego rejestratora wibroprzeciążeń;
- wyposażenia stanowiska w zmodernizowany system zbierania i rejestracji danych pomiarowych;
- modernizacji układu paliwowego i dostosowanego do testowania silnika o większym ciągu, tj. do 200 N;
- doposażenia stanowiska w narzędzia i elementy zapasowe.

W lutym i marcu 2017 r. w WAT wykonano testy i próby zmodernizowanego stanowiska, w tym w warunkach zimowych. 12-16 czerwca 2017 r. na CPSP w Ustce przeprowadzone zostały kolejne badania poligonowe kompletnego zestawu ZOCP-JET2, w tym SPOS. W rezultacie Zestaw odrzutowych celów powietrznych z programowaną trasą lotu ZOCP-JET2 otrzymał pozytywny wynik badań kwalifikacyjnych, Orzeczenie nr 1/ZOPPiR/2017 z badań kwalifikacyjnych prototypu zestawu odrzutowych celów powietrznych z programowaną trasą lotu.

Dopełnieniem całości prac kwalifikacyjnych było wykonanie pełnej dokumentacji konstrukcyjnej (mechanicznej i elektrycznej) wraz z warunkami technicznymi na wykonanie i odbiór stanowiska — pozwalającej na uruchomienie produkcji stanowiska oraz dokumentacji eksploatacyjnej SPOS. Ta ostatnia zawiera m.in. instrukcje obsługi technicznego SPOS, instrukcje użytkownika, książkę urządzenia, co więcej, z uwagi na brak producentkiej książki silnika, taki dokument też opracowano. Było to zadanie nietypowe, gdyż do tej pory zespół naukowo-badawczy z WAT nie opracowywał takiej dokumentacji, realizowane projekty miały charakter badawczy i nie kończyły się wdrożeniem (dziewiątym poziomem technologicznym).



Rys. 5. Testowane stanowiska SPOS w warunkach zimowych (WAT, luty 2017 r.)

4. Stanowisko obsługi i przygotowania silników – SPOS

Bazą SPOS jest platforma nośna (rys. 6) z zainstalowanym czteropunktowym układem jezdny zaprojektowanym w ten sposób, aby zapewnić wysoką manewrowość stanowiska. Każde z czterech kół układu posiada skrętną oś obrotu oraz układ hamulcowy, który podczas realizacji badań pełni rolę blokady przed niekontrolowanym przemieszczeniem się konstrukcji. Na platformie umieszczono skrzynię transportową zamykaną dwiema pokrywami: górną i boczną (rys. 6). Skrzynia stanowi główny element konstrukcji stanowiska, umożliwiający rozmieszczenie wszystkich urządzeń wyposażenia tworzących funkcjonalną całość. Wraz z osłonami gwarantuje szczelność oraz ochronę przed mechanicznymi oraz atmosferycznymi oddziaływaniami z zewnątrz. Podzielona została na trzy przedziały: paliwowy, elektryczny oraz wyposażenia dodatkowego. Widok ogólny SPOS wraz z zainstalowanym MTSO zaprezentowano na rysunku 7.

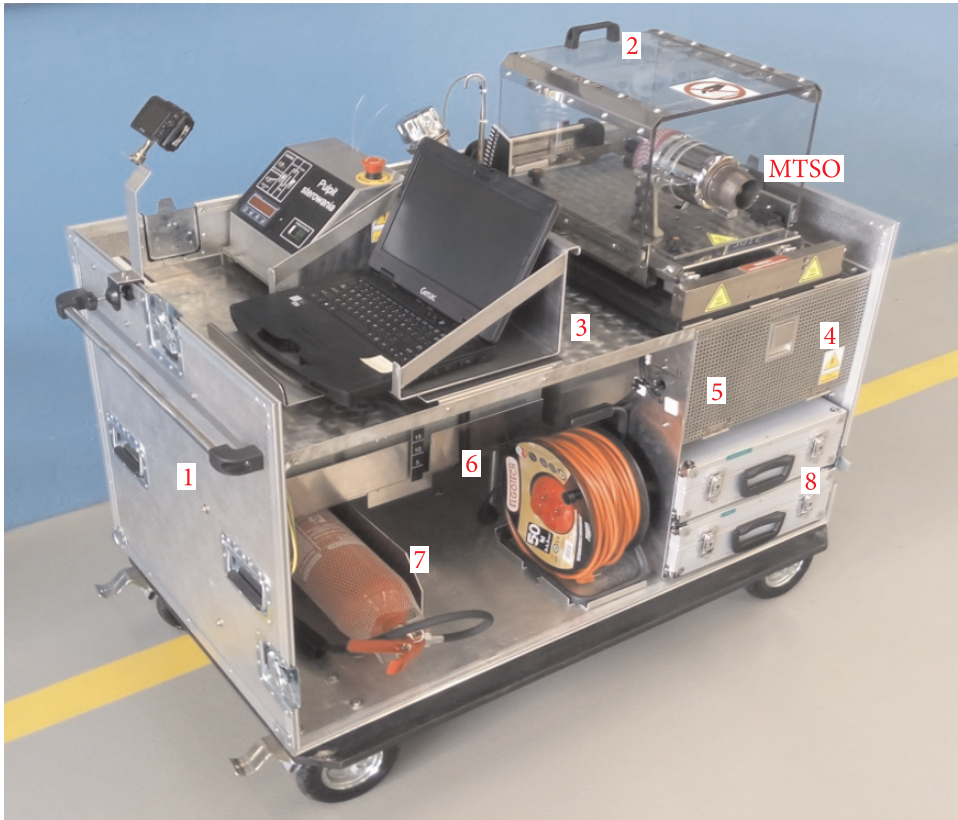
Widok przedziałów SPOS prezentuje rysunek 8. Głównym wyposażeniem przedziału paliwowego (rys. 8a.I) jest wspornik z zainstalowanym 52-litrowym kompozytowym zbiornikiem paliwa. Zbiornik wyposażono w filtr oraz elektryczną pompę pozwalającą na wytworzenie nadciśnienia w całej instalacji paliwowej. W wolnej przestrzeni przedziału dodatkowo zainstalowano przedłużacz elektryczny służący do podłączenia SPOS do zewnętrznej sieci elektrycznej, gaśnicę CO₂ oraz przewód uziemiający wraz z prętem gruntującym. Te ostatnie, wraz z układem różnicowo-prądowych bezpieczników elektrycznych 5 A, zainstalowanych w przedziale elektrycznym (rys. 8a.II oraz rys. 8b), tworzą zabezpieczenie przeciwporażeniowe na wypadek wystąpienia przepięć lub przebiegów prądowych. Głównymi elementami tego przedziału są: zasilacz główny o napięciu wyjściowym 7,5 V rozprowadzający

energię elektryczną do wszystkich odbiorników zabudowanych na SPOS oraz zasilacz awaryjny stanowiący alternatywne źródło zasilania. Ponadto w przedziale umieszczono listwę zasilającą z dwoma gniazdami 230 V oraz rejestrator wibroprzeciążenia. Przedział wyposażenia dodatkowego (rys. 8a.III) zawiera natomiast zestaw narzędzi i części zamiennych oraz wyposażenie ochronne załogi eksploatującej SPOS. W przedziale tym dodatkowo na czas transportu przechowywane są elementy aparatury zdalnego sterowania pracą MTSO badanego na SPOS oraz część wyposażenia pomiarowego: GSU wraz z komputerem stanowiącym kontroler całego systemu diagnostycznego.

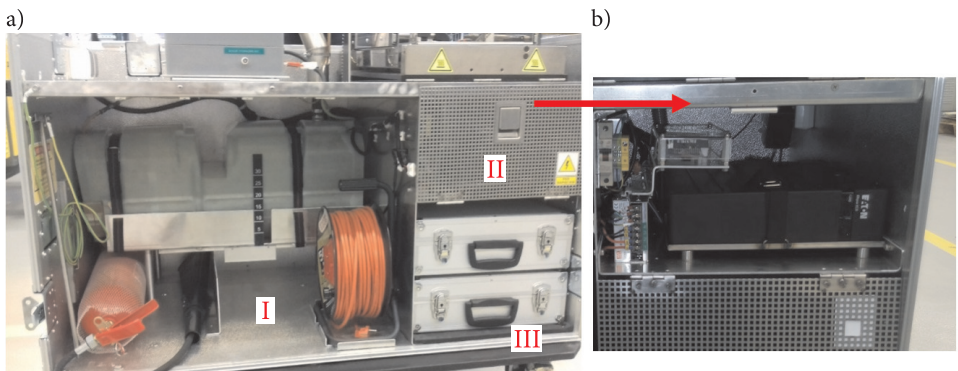


Rys. 6. Widok stanowiska z zamkniętymi osłonami (skrzynia transportowa): 1 — osłona górna, 2 — osłona boczna (przednia)

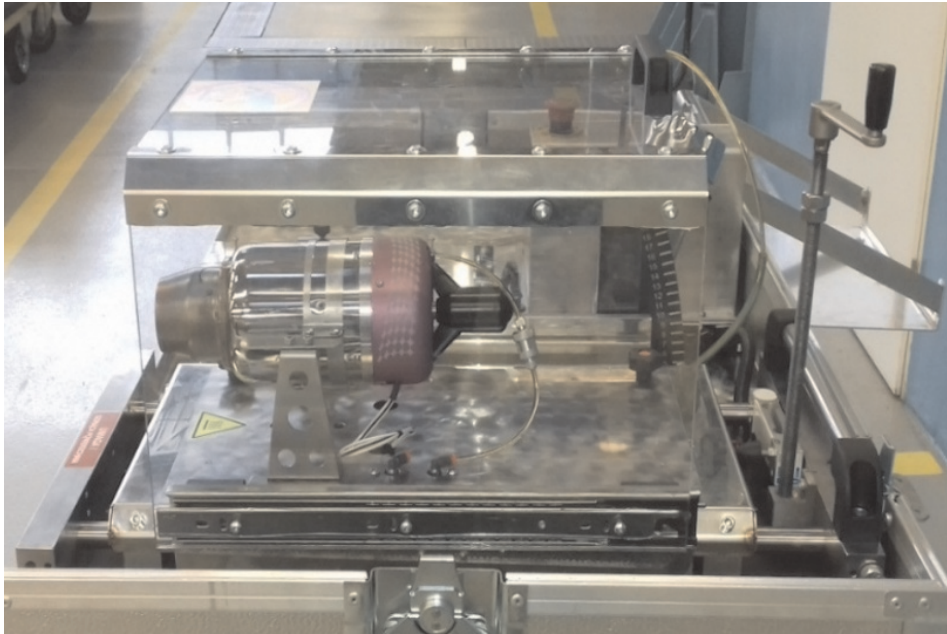
Wyżej wymienione elementy aparatury kontrolno-pomiarowej podczas normalnej pracy SPOS znajdują się na jego płycie głównej (rys. 7). Opcjonalnie wykorzystując specjalistyczny wspornik, komputer może być montowany na jednej z krawędzi skrzyni transportowej. Ponadto na płycie głównej znajduje się pulpit sterowania pracą wybranych podzespołów SPOS. Pulpit sterowania wyposażono w wyświetlacze cyfrowe, z których odczytywane są wybrane parametry pracy MTSO, oraz przycisk awaryjnego odłączenia zasilania w energię elektryczną na wypadek zaistnienia niebezpiecznej sytuacji. Płyta główna stanowi także podstawę montażową dla układu wlewu paliwa do zbiornika. Ostatnim elementem zainstalowanym na płycie głównej jest hamownia MTSO JetPol (rys. 9).



Rys. 7. Widok ogólny stanowiska SPOS z zamocowanym MTSO (zdjęte osłony):
 1 – skrzynia transportowa, 2 – hamownia silników firmy JetPol, 3 – pulpit sterowania, 4 – aparatura pomiarowa, 5 – instalacja elektryczna, 6 – instalacja paliwowa ze zbiornikiem, 7 – wyposażenie dodatkowe, 8 – wyposażenie eksploatacyjno-naprawcze



Rys. 8. Przedziały: paliwowy (a.I), elektryczny (a.II, b) oraz wyposażenia dodatkowego (a.III)



Rys. 9. Hamownia MTSO JetPol z zainstalowanym silnikiem JetCat

Głównym zadaniem hamowni jest zapewnienie prostego i bezpiecznego montażu MTSO na SPOS. Jej dodatkową funkcjonalnością jest możliwość zmiany kąta nachylenia osi podłużnej MTSO względem poziomu dzięki zastosowaniu widocznego na rysunkach 7 i 9 układu kątowej zmiany położenia podstawy hamowni. W celu zabezpieczenia operatora SPOS przed poparzeniem o gorące powierzchnie MTSO oraz przed ewentualnymi skutkami uszkodzenia MTSO podczas wykonywania badań stanowiskowych hamownia została wyposażona w demontowalną osłonę z PMMA umieszczoną na łożyskach liniowych (rys. 7).

Przeznaczenie stanowiska

Stanowisko przygotowania i obsługi silników SPOS stanowi element składowy zestawu odrzutowych celów powietrznych z programowaną trasą lotu ZOCP-JET2. SPOS jest przeznaczone do:

- wyznaczania i archiwizacji podstawowych charakterystyk początkowych (wzorcowych) nowych miniaturowych turbinowych silników odrzutowych typu JetCat (MTSO) przed ich zabudową na odrzutowy cel powietrzny (OCP);
- monitorowania podstawowych charakterystyk silników w procesie eksploatacji z uwzględnieniem krytycznych obciążeń zewnętrznych wynikających z realizacji zadań powietrznych.

Parametry techniczne

Parametry zewnętrzne stanowiska:

- długość: 1200 ±10 mm;
- szerokość: 805 ±10 mm;
- wysokość: 1362 ±10 mm;
- masa: 220 kg.

Warunki eksploatacji SPOS:

- zakres temperaturowy pracy: -10÷40°C;
- opady atmosferyczne: bez opadów;
- zasilanie elektryczne: 230 V, 50 Hz;
- paliwo lotnicze: Jet A-1, nafta oczyszczona (*deodorised kerosene*) lub nafta 1-K (*kerosene 1-K*);
- syntetyczny olej do silników turbinowych, np. JetCat oil z dodatkiem antystatycznym (Part# 61197-00), AeroShell 500 lub inny olej do silników turbinowych spełniający normy MS23699;
- pojemność zbiornika paliwa: ok. 52 dm³.

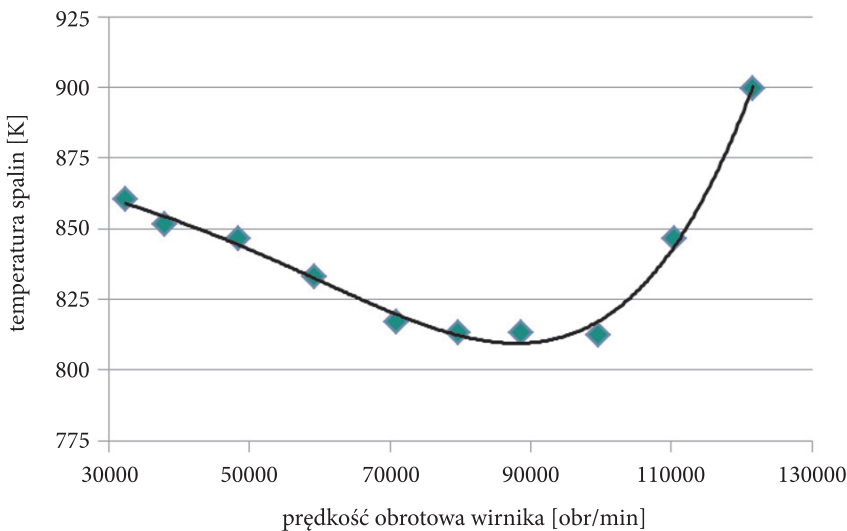
Opis możliwości taktyczno-technicznych

Stanowisko SPOS umożliwia:

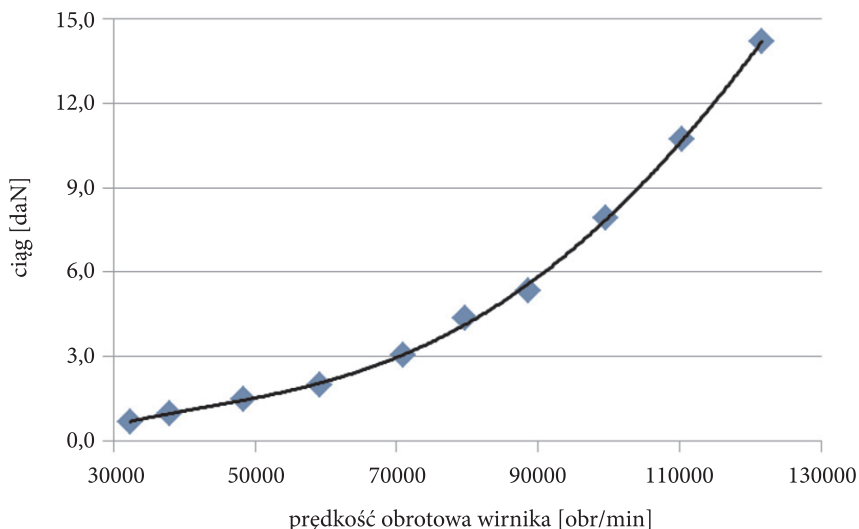
- montaż i podłączenie MTSO;
- uruchomienie i sterowanie pracą MTSO;
- pomiar wybranych charakterystyk MTSO:
 - ciągu,
 - prędkości obrotowej,
 - temperatury gazów wylotowych,
 - napięcia zasilania pompy paliwowej,
 - objętościowego wydatku paliwa (na potrzeby pomiarów badawczych),
 - poziomu drgań w jego osi podłużnej (na potrzeby pomiarów badawczych);
- ocenę stanu technicznego MTSO;
- archiwizację badanych charakterystyk MTSO.

Wybrane wyniki pomiarów realizowanych z wykorzystaniem SPOS

W ramach testów eksploatacyjnych SPOS stanowisko wykorzystano do realizacji badań doświadczalnych kilku typów silników lotniczych klasy MTSO cechujących się różnymi parametrami masowo-geometrycznymi oraz pracy. Serii badań poddano m.in. MTSO JatCat o deklarowanym przez producenta ciągu maksymalnym równym 14 daN. Wybrane wyniki pomiarów zaprezentowano na rysunkach 10 i 11 w postaci przebiegów zmian wartości temperatury spalin (rys. 10) mierzonej w przekroju za turbiną oraz ciągu (rys. 11) w funkcji prędkości obrotowej wirnika silnika. Aby umożliwić porównywanie charakterystyk silnikowych MTSO pracujących w różnych warunkach atmosferyczno-środowiskowych, mierzone wartości każdorazowo sprowadzono do wartości obliczanych według parametrów atmosfery wzorcowej. Przeliczenie to pozwoliło dodatkowo na potwierdzenie jakościowej zgodności rejestrowanych przy użyciu SPOS przebiegów charakterystyk silnikowych z danymi literaturowymi. Analiza ilościowa prowadzona była indywidualnie dla każdego z badanych MTSO.



Rys. 10. Temperatura spalin za turbiną MTSO w funkcji prędkości obrotowej wirnika



Rys. 11. Ciąg MTSO w funkcji prędkości obrotowej wirnika

5. Wnioski

Zaprojektowane i zbudowane stanowisko do badania miniaturowych silników odrzutowych SPOS stanowi unikalne urządzenie w swojej klasie, potwierdza to analiza dostępnej literatury. Systemy są przeznaczone do celów edukacyjnych oraz pracy w warunkach laboratoryjnych i pozwalają na wyznaczenie jedynie podstawowych i z góry narzuconych parametrów pracy konkretnego rodzaju turbinowego silnika odrzutowego.

Budowa stanowiska do monitorowania stanu technicznego wynikała z konieczności dostarczania danych diagnostycznych na potrzeby oceny możliwości bezpiecznej eksploatacji wykorzystywanych silników oraz podniesienia stanu wiedzy na ich temat. Zasadność przedsięwzięć podjętych w tym zakresie znalazła potwierdzenie w zastosowaniu praktycznym. Stwierdzono bowiem możliwość jednoznacznej i wiarygodnej oceny stanu technicznego badanych MTSO na podstawie przeprowadzonych badań laboratoryjnych i przede wszystkim poligonowych.

Na szczególne podkreślenie zasługuje fakt, że zaprezentowane stanowisko jest pomysłem autorskim pod względem wdrożonych procedur pomiarowych oraz rozwiązań konstrukcyjnych. Zastosowane rozwiązania pozwoliły na znaczne zmniejszenie kosztów produkcji stanowiska w stosunku do rozwiązań zagranicznych.

Jednocześnie uzyskano wzrost jego funkcjonalności użytkowych poprzez urzeczywistnienie założeń dotyczących mobilności stanowiska, odporności na oddziaływanie czynników zewnętrznych oraz możliwości badania różnych rodzajów silników. Zostało ono zaprojektowane i zbudowane na bazie krajowego zaplecza naukowo-badawczego (firmy JetPol, WCBKT oraz ITWL).

Stanowisko ma znaczny potencjał rozwojowy (np. możliwość pomiaru wibroprzeciążeń, badania ustawień łożowych silnika, transmisja i akwizycja danych pomiarowych).

Projekt pt. *Zestaw odrzutowych celów powietrznych z programowalną trasą lotu* (DOBR/0065/R/ID1/2012/03) był finansowany ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju, a realizowany przez konsorcjum: ITWL - lider, MSP-Szender, Politechnika Warszawska, WAT. Zestaw został wyróżniony prestiżową nagrodą Defender na XXV edycji Międzynarodowego Salonu Przemysłu Obronnego w Kielcach w 2016 r.

Artykuł wpłynął do Redakcji 24.07.2020. Zatwierdzono do publikacji 4.09.2020.

Ryszard Chachurski <https://orcid.org/0000-0002-4107-6138>

Łukasz Omen <https://orcid.org/0000-0002-8966-3315>

Andrzej J. Panas <https://orcid.org/0000-0002-5497-5845>

Piotr Zalewski <https://orcid.org/0000-0002-3834-5376>

LITERATURA

- [1] BALICKI W., CHACHURSKI R., GŁOWACKI P., GODZIMIRSKI J., KAWALEC K., KOZAKIEWICZ A., PĄGOWSKI Z., ROWIŃSKI A., SZCZECIŃSKI J., SZCZECIŃSKI S., *Lotnicze silniki turbinowe. Konstrukcja — eksploatacja — diagnostyka. Część I*, Instytut Lotnictwa, Warszawa 2010.
- [2] BALICKI W., CHACHURSKI R., GŁOWACKI P., GODZIMIRSKI J., KAWALEC K., KOZAKIEWICZ A., PĄGOWSKI Z., ROWIŃSKI A., SZCZECIŃSKI J., SZCZECIŃSKI S., *Lotnicze silniki turbinowe. Konstrukcja — eksploatacja — diagnostyka. Część II*, Instytut Lotnictwa, Warszawa 2012.
- [3] BALICKI W., *Potrzeby i sposoby diagnozowania lotniczych silników turbinowych*, Prace Instytutu Lotnictwa, nr 4 z. 199, 2009, Instytut Lotnictwa, Warszawa 2009.
- [4] BOLEK B., *Monitorowanie silników CF6-80C2 w PLL LOT S.A.*, Seminarium *Eksploatacja silników CF6-80C2 w PLL „LOT” S.A. lata 1989-1994*, PLL LOT S.A., Warszawa 1994.
- [5] BOLEK B., GŁOWACKI P., ZAJĄCZKOWSKI J., *EVM-219 Vibration Monitoring System with Soviet Made D-30KU Engines Airline Experience*, Vibration Monitoring and Analysis, Zurich 1990.
- [6] BOLIŃSKI B., STELMASZCZYK Z., *Napędy lotnicze. Eksploatacja silników turbinowych*, WKiŁ, Warszawa 1981.
- [7] DOROŠKO S.M., *Kontrol' i diagnostirovanie tehničeskogo sostoâniâ gazoturbinnyh dvigatelej po vibracionnym parametram*, Transport, Moskwa 1984
- [8] GŁOWACKI P., ŁAGOSZ M., SZCZECIŃSKI S., *Drgania silnika jako wskaźnik diagnostyczny*, Wojskowy Przegląd Techniczny, nr 6, 1990, Wydawnictwo MON, Warszawa 1990.
- [9] JetCat RX Turbines with V10 ECU, Ingenieurbüro CAT, M. Zipperer GmbH, [online] <http://docplayer.net/20975822-Jetcat-rx-turbines-with-v10-ecu.html>, [dostęp: 07.2020].
- [10] KEBÄ I.V., *Diagnostika aviacionnyh gazoturbinnyh dvigateliej*, Transport, Moskwa 1980.

- [11] LINDSTEDT P., BOROWCZYK H., ŁUKOMSKI B., *Diagnostyka lotniczych silników turbinowych*, Problemy Badań i Eksploatacji Techniki Lotniczej, ITWL, Warszawa 1993.
- [12] *Normy eksploatacyjne silników rodziny D-30KU eksploatowanych w Polskich Liniach Lotniczych LOT*, PLL LOT, Warszawa 1991.
- [13] *Szczegółowe zasady przeprowadzania kontroli stanu silnika samolotu Il-62M i Tu-154M na podstawie ich bieżącej wibracji oraz zasad postępowania w przypadku stwierdzenia nieprawidłowości*, PLL LOT, Warszawa 1991.
- [14] *Założenia taktyczno-techniczne na zestaw odrzutowych celów powietrznych z programowalną trasą lotu*, ITWL, Warszawa 2016.

R. CHACHURSKI, Ł. OMEN. A.J. PANAS, P. ZALEWSKI

**Mobile engine test station for preparation and operation
of miniature turbine jet engines for flying aerial targets**

Abstract. The work presents description and operation of the mobile engine test station, designed for the miniature turbine jet engines with a maximum thrust below 200 N. The engine test bed allows us to monitor the condition of the engine used to drive remotely controlled flying aerial targets or military unmanned aircraft. According to military (Department of Defence) requirements, the designed engine test station is mobile, it can be used in military battlefield conditions and it meets safety precautions and military transport requirements. The reason of the engine investigations was the shortage and lack of information on the engine capability and suitability to work in the field conditions, and first of all on its limitations. The designed engine test station successfully completed tests in laboratory as well as in military field conditions and nowadays it is an integrated part of the Aerial Flying Target System called the ZOCP-JE2 that is designated for the engine's monitoring and checking before the flight.

Keywords: life cycle monitoring, miniature turbine jet engines, diagnostic procedures

DOI: 10.5604/01.3001.0015.3819