

# Próby w locie samolotu Aero L-39 Skyfox

**Hynek Pokorny**  
inżynier prób w locie, Aero Vodochody, Czechy

## Streszczenie

W artykule opisano próby w locie nowego samolotu Aero L-39 Skyfox. Przedstawiono program prób, a także wyposażenie pokładowe służące do pomiarów parametrów lotu. Zawarto problematykę badań w locie oraz omówiono działanie poszczególnych podzespołów: układu napędowego, systemu podtrzymania życia, uzbrojenia podwieszanego oraz awioniki.

**Słowa kluczowe:** próby w locie, Aero Vodochody, L-39 Skyfox

## Wprowadzenie

Testy w locie to kluczowy etap w rozwoju nowego samolotu. Często zdarza się, że są one niedoceniane i postrzegane jako uciążliwy etap, który przeprowadza się wyłącznie w celu spełnienia wymagań certyfikacyjnych. Jednak to właśnie na tym etapie często wykrywane są poważne usterki w konstrukcji, co skłania twórców samolotu do przeprojektowania konkretnego systemu lub wdrożenia kompensacji aerodynamicznej. Im większy nacisk kładzie się na bezpieczeństwo lotów, tym więcej przepisów wprowadza się w lotnictwie. W efekcie skutkuje to coraz intensywniejszymi testami.

W pierwszych latach rozwoju lotnictwa, jeśli nowo skonstruowany samolot latał i lądował bez uszkodzeń i obrażeń pilota, uznawano go za udany. Wkrótce koniecznym okazało się udokumentowanie osiągnięć samolotu. Miało to zapewnić jego sukces komercyjny i ocenić właściwości lotne, czyli dać gwarancję, że przeciętny pilot będzie w stanie nim sterować. Niebawem zostało to uregulowane dzięki ustanowieniu norm bezpieczeństwa przez pierwsze władze lokalne (Anglia 1911 – Ustawa o nawigacji lotniczej (*Aerial Navigation Act*)).

Samolot L-39NG został certyfikowany zgodnie z nowymi ramami EMACC, które pozwalają na dostosowanie podstawy certyfikacji zarówno do przepisów cywilnych, EASA CS-23, jak i norm wojskowych DEF STAN 00-970.

Nawet dziś w niektórych gałęziach lotnictwa osiągi w locie mierzy się stoperem i przyrządami pokładowymi, właściwości lotne ocenia się na podstawie raportów pilota, a testowanie systemów pokładowych nie jest konieczne, ponieważ nie ma systemów wartych testowania. Zazwyczaj w takim przypadku właściciel jest jednocześnie pilotem doświadczalnym, a czasem również konstruktorem samolotu. Z zupełnie odmienną sytuacją mamy do czynienia przy samolotach cywilnych lub wojskowych, projektowanych, budowanych i testowanych przez zespoły inżynierów. Miałem okazję osobiście uczestniczyć w testach certyfikacyjnych samolotu L-39 Skyfox, stąd też wszystkie zawarte poniżej informacje będą odnosić się do tego samolotu.

## System akwizycji danych pomiarowych

Na potrzeby certyfikacji zbudowano dwa prototypy, oba wyposażone w system akwizycji danych Curtiss-Wright Acra KAM-500. Jest to rozwiązanie zdecentralizowane, składające się z wielu bloków zlokalizowanych w kadłubie, połączonych ze sobą siecią Ethernet. Każdy blok wyposażony jest w szereg kart pomiarowych, które są dobierane w zależności od celu testu. Do badań w locie samolotu L-39 Skyfox wykorzystano karty napięciowe 10 i 40 V, karty dla mostków tensometrycznych, dla czujników drgań, termopar, częstotliwości, sygnałów binarnych, a także do odczytu magistrali ARINC 429 i MIL-STD-1553 oraz magistrali szeregowej RS 232. Dane są następnie zapisywane na karcie pamięci w samodzielnym rejestratorze danych lotu. Znajduje się on w przedniej części kadłuba. Synchronizację czasu i parametrów położenia zapewnia pokładowy system GNSS.

## Własności lotne

Testy nowego samolotu warto rozpocząć od sprawdzenia jego własności lotnych. Jeśli są dobre, sprawiają, że samolot cieszy się popularnością wśród pilotów, a to stanowi podstawę potencjalnego sukcesu rynkowego. Największym wyzwaniem w projekcie L-39 Skyfox było zapewnienie dobrych właściwości pilotażowych przy prędkościach od 100 do 490 węzłów. L-39 Skyfox to samolot sterowany bezpośrednio, w którym sterowanie odbywa się za pomocą drążków nawigujących, a siły na sterach wspomagane są siłownikami elektrycznymi. To rozwiązanie wybrano w celu poprawy sterowności i właściwości pilotażowych starszego modelu L-39 Albatros.

Badanie własności lotnych ma na celu sprawdzenie, czy samolot może być bezpiecznie i skutecznie nawigowany w całym zakresie jego możliwości operacyjnych. Ocena obejmuje sterowność we wszystkich fazach lotu, a także możliwość wyważenia, stabilność statyczną i dynamiczną, ostrzeganie przed przeciągnięciem oraz charakterystykę aerodynamiczną przy dużych prędkościach. Testy przeprowadza się z wykorzystaniem przyrządów pokładowych i oceny pilotów, często dokonywanej w oparciu o standardowe skale ocen. Samolot musi przewidywalnie reagować na polecenia sterujące, mieć określone akceptowalne obciążenie pilota oraz dawać pewność bezpiecznego zachowania zarówno w warunkach normalnych, jak i awaryjnych. Wymagania te gwarantują, że samolot nadaje się do obsługi przez przeciętnego pilota bez konieczności wkładania wielkiego wysiłku i posiadania wyjątkowych umiejętności.



*Ryc. 1. Zaburzenia przepływu na powierzchniach aerodynamicznych samolotu Aero L-39 Skyfox powstałe wskutek przeniesienia zbiorników paliwa na końcówki skrzydeł. Wizualizacja przy użyciu nitek bawełnianych*

Rycina 1 przedstawia próbę, w trakcie której weryfikowano skutki przeniesienia zbiorników paliwa na końcówki skrzydeł. Na fotografiach widać zaburzenia przepływu na poszczególnych powierzchniach aerodynamicznych samolotu, wizualizowane przy użyciu nitek bawełnianych.

### Osiągi w locie

Osiągi w locie stanowią integralną część charakterystyki aerodynamicznej samolotu. Przeprowadzenie sprawdzających je testów jest obowiązkowe, ponieważ wyniki osiągnięć są częścią instrukcji użytkownika w locie.

Testy osiągnięć w locie przeprowadza się w celu weryfikacji, czy samolot spełnia deklarowane zdolności operacyjne w całym zakresie lotu. Obejmują one pomiary i walidację kluczowych parametrów, takich jak długość startu i lądowania, prędkość wznoszenia przy różnej prędkości postępowej na różnych poziomach lotu, prędkość maksymalną i przelotową na różnych poziomach lotu, pułap, zasięg maksymalny oraz zużycie paliwa w funkcji prędkości lotu na wszystkich poziomach lotu. Testy wykonuje się w różnych warunkach obciążenia i scenariuszach środowiskowych. Ma to na celu zapewnienie zgodności z kryteriami osiągnięć określonymi w podstawie certyfikacji, która w przypadku L-39 Skyfox opiera się głównie na przepisach CS-23. Dane są gromadzone za pomocą jednostki akwizycji danych i weryfikowane na podstawie przewidywań analitycznych. Wyniki muszą wykazać, że samolot działa niezawodnie i spójnie w określonych granicach, zapewniając zarówno efektywność operacyjną, jak i zgodność z przepisami.



*Ryc. 2. Oprzyrządowanie do pomiaru pola ciśnienia w sprzężarce silnika podczas prób w locie*

## Zespół napędowy

Sercem samolotu jest silnik FJ44-4M firmy Williams. Maksymalny ciąg wynosi 16 kN, czyli nieco więcej niż w starszym silniku AI-25 samolotu L-39 Albatros. W przeciwieństwie do starszej konstrukcji, obecny silnik jest znacznie bardziej wydajny i osiąga lepszą dynamikę przyspieszania. Silnik jest sterowany systemem FADEC (*Full Authority Digital Engine Control*), co również stanowi istotne udoskonalenie w stosunku do starszej wersji. Silnik ten pochodzi z rynku cywilnego, konieczne były zatem jego liczne modyfikacje, by mógł zostać wykorzystany w samolotach wojskowych. Najważniejszą ze zmian było dodanie funkcjonalności lotu odwróconego.

Silnik został wyposażony w aparaturę do pomiaru podstawowych parametrów (obrotów sprężarki niskiego i wysokiego ciśnienia, temperatury międzystopniowej turbiny), a także do przeprowadzania testów integracyjnych. Do pomiaru pola ciśnienia na wlocie zastosowano czujniki przedstawione na rycinie 2. Dodatkowo zastosowano czujniki drgań konstrukcji mocującej silnik w kadłubie. W locie testowano również zachowanie w stanach nieustalonych, przy rozpędzaniu, a także podczas ponownego uruchamiania silnika.

## System ratunkowy

L-39 Skyfox jest wyposażony w fotel wyrzucany Martin Baker Mk. 16, a bezpieczne katapultowanie jest zapewnione poprzez skruszenie osłony kabiny. Testy katapultowe, podobnie jak testy pęknięcia osłony, zostały przeprowadzone przez producenta. Dział prób w locie firmy Aero jest odpowiedzialny za naziemną weryfikację prześwitu drogi ewakuacyjnej. Polega ona na podnoszeniu fotela za pomocą dźwigu, podczas gdy porusza się on wzdłuż szyny nośnej. W ciągu ostatnich 40 lat w firmie Aero przeprowadzono testy krajowych foteli katapultowych, opracowanych w instytucie badawczym VZLÚ Aerospace we współpracy

z Aero Vodochody, na starszych modelach L-39, L-59 i L-159. Testy te obejmowały próby katapultowania awaryjnego oraz separacji osłony zarówno na ziemi, jak i w locie. Rycina 3 przedstawia moment wyrzucenia fotela z kabiny podczas testów naziemnych.

## Awionika

System awioniczny samolotu opiera się na przetwarzaniu cyfrowym. Komputer pokładowy ADC-39 (*Air Data Computer*) oblicza prędkość i wysokość na podstawie ciśnienia statycznego i całkowitego, system odniesienia wysokości i kursu (AHRS) oblicza kąty położenia (przechylenie, pochylenie i odchylenie) za pomocą żyroskopów bezwładnościowych, akcelerometrów i czujnika magnetycznego, które są stale skorelowane z danymi GPS lub mogą działać wyłącznie w trybie bezwładnościowym. System ADAHRS (*Air Data, Attitude and Heading Reference System*) stanowi rezerwę dla systemu podstawowego AHRS. Dane są wyświetlane pilotowi na PFD i MFD (*Primary and Multifunction Flight Display*), a także na wyświetlaczu HUD.

Testy naziemne, a także próby w locie dowiodły, że wszystkie wyświetlane dane są prawdziwe i spójne w czasie. Począwszy od wychylenia siłowników trymera, danych aerodynamicznych, danych silnika, aż po położenie względem radiolatarni VOR/DME. Kolejną częścią testów jest badanie EMC (kompatybilność elektromagnetyczna), co oznacza, że żaden system w samolocie nie będzie miał wpływu na inny. Nie może się zdarzyć, że pompa paliwa zakłóci częstotliwość radiową lub łącza danych. Duży wysiłek włożono również w testowanie algorytmów, w których sprawdza się, czy dane wejściowe z czujników spowodują określone ostrzeżenie/przestrożę w określonym czasie. Symulacja sygnałów wejściowych jest częściowo wykonywana za pomocą symulatora komputerowego, a częściowo może być realizowana poprzez zastąpienie danych z czujników rzeczywistymi sygnałami symulowanymi elektrycznie (zwarcie, napięcie, rezystancja).



Ryc. 3. Próba naziemna fotela katapultowanego VS-20 w samolocie Aero L-159

## System podtrzymania życia

Aero L-39 Skyfox, podobnie jak L-39 Albatros, jest samolotem z miejscami siedzącymi dla pilotów w układzie tandem oraz z kabiną ciśnieniową. Dla zyskania lepszej widoczności tylne siedzenie zostało podniesione. Kabina jest ciśnieniowa, od 8000 stóp aż do pułapu (38000 stóp), a regulator działa na zasadzie pneumo-mechanicznej. Charakterystyka regulacji została przetestowana podczas ustalonego wznoszenia i zniżania, w czasie lotu poziomego na różnych poziomach, a także podczas stromego zniżania. Wyposażenie pilota zawiera maskę tlenową Gentex MBU-20 i spodnie anty-grawitacyjne Survitec Skeletal. Oba elementy są obowiązkowe dla każdego lotu i zasilane z pokładowego systemu generowania tlenu (OBOGS), który dostarcza mieszanke gazów oddechowych nie tylko do maski, ale także napełnia spodnie do żądanego ciśnienia. Przeprowadzono testy w celu sprawdzenia stężenia tlenu w mieszance, a także ciśnienia w komorze maski. Ciśnienie parcjalne tlenu musi być wyższe niż 0,21 kPa, aby uniknąć niedotlenienia pilota, a stężenie nie może przekraczać 60%, aby ograniczyć atektazję przyspieszeniową. Jest to system generowania tlenu na żądanie, w którym ciśnienie w komorze maski musi pozostać dodatnie do momentu osiągnięcia określonego przepływu, co również zostało przetestowane.

Rycina 4 przedstawia pilota w kombinezonie podłączonym do systemu podtrzymywania życia.



Ryc. 4. System podtrzymywania życia w samolocie Aero L-39 Skyfox podczas testów z udziałem pilota doświadczalnego

## Uzbrojenie

Chociaż Skyfox został zaprojektowany przede wszystkim jako samolot szkoleniowy, w celach ćwiczeniowych zdolny jest do przenoszenia bomb i rakiet niekierowanych, a także karabinu maszynowego. Testy integracyjne rozpoczęły się od prób separacji (zrzut bomb, odpalenie pocisków raketowych), aby dać pewność, że ładunek oddzieli się swobodnie od samolotu, nie powodując niepożądanych zakłóceń w samolocie lub możliwych uszkodzeń płatowca.

Największym problemem w tych testach jest zazwyczaj upuszczenie pustego zbiornika paliwa, który jest ciałem aerodynamicznym o dużym stosunku siły nośnej do masy, co może powodować unoszenie w polu ciśnienia wokół skrzydła i potencjalną kolizję (ryc. 5).

Testy w locie poprzedzono analizą CFD w celu oszacowania oczekiwanego zachowania i ustalenia granic obwiedni separacji. Podczas testów samolot wyposażono w kamery (ryc. 6), a przebieg próby dodatkowo rejestrował kamerzysta



Ryc. 5. Próba separacji opróżnionego zbiornika paliwa w locie



Ryc. 6. Kamera zainstalowana pod kadłubem samolotu



Ryc. 7. Moment odpalenia pocisku raketowego w trakcie prób prototypu Aero L-39 Skyfox

lejący w samolocie towarzyszącym. Następnie rzeczywista trajektoria wyodrębniona z kamer była porównywana z trajektorią obliczoną w celu weryfikacji wyników CFD.

Do prawidłowego celowania broni wykorzystywany jest komputer balistyczny, który integruje krzywe balistyczne broni z danymi lotniczymi i kątami położenia samolotu. W obecnym stanie rozwoju testowano tryb CCIP do zrzutu

bomb i raket. Testy obejmowały wielokrotne powtarzanie profilu zrzutu w celu uzyskania wyników statystycznych, a także zrzuty w różnych profilach, aby zapewnić poprawność obliczeń w całym zakresie zrzutu. Rycina 7 przedstawia samolot w trakcie prób odpalenia pocisków raketowych, zaś na rycinie 8 widać moduł manipulatora do oznaczania punktów testowych, połączonego z komputerem balistycznym.

## Podsumowanie

W artykule opisano dotychczas przeprowadzone testy w locie samolotu Aero L-39 Skyfox. Prace nad projektem rozwojowym L-39 Skyfox będą kontynuowane, dopóki nie zostanie ukończony pełny program prób w locie.

W przypadku testowania samolotu o złożonej konstrukcji, zawierającej wiele systemów pokładowych, zakres prac w ramach prób w locie jest bardzo różnorodny, ale niezależnie od tego, samolot musi przede wszystkim dobrze i bezpiecznie latać. Dlatego też właściwości lotne oraz osiągi są kluczowe i wymagają największej uwagi.



Ryc. 8. Manipulator oznaczania punktów testowych w kabinie samolotu Aero L-39 Skyfox