

Streszczenie rozprawy doktorskiej

mgr inż. Radosław Raczyński

AERODYNAMIKA WIRNIKA NOŚNEGO ZE STEROWANYM SKRĘCENIEM GEOMETRYCZNYM

Śmigłowiec to rodzaj wiroplata, który uzyskuje siłę nośną i napędową dzięki poziomo obracającym się wirnikom. Wirniki zapewniają możliwość pionowego startu i lądowania (VTOL) oraz pomagają na pewien czas zawisnąć w określonym miejscu. Wiroplaty są przeznaczone do wykonywania różnych operacji i lotów w zatłoczonych lub odizolowanych obszarach, w których samoloty stałopłatowe nie mogą realizować zadań. W ciągu ostatnich dwóch dekad maszyny te znacznie się rozwinęły pod względem wydajności i niezawodności. Są one wykorzystywane do zastosowań wojskowych, komercyjnych i ogólnych. Ostatnio lotnictwo wiroplataw odnotowało największy wzrost ruchu lotniczego w sektorze lotnictwa ogólnego, w tym służb ratownictwa medycznego. Oczekuje się, że rynek ten odnotuje znaczny wzrost ze względu na rosnącą tendencję do stosowania lekkich wiroplatów w przemyśle lotniczym. W 2020 r. wartość światowego rynku helikopterów wyniosła ponad 50 mld USD.

Geometria wirników wiroplataw jest kompromisem pomiędzy efektywnością lotu wyrażoną zużyciem paliwa podczas wykonywanej misji a zdolnością operacyjną wyrażoną maksymalną siłą ciągu wirnika. Obie cechy wirnika są sobie przeciwstawne i podczas projektowania geometrii wirnika nie osiąga się jednoczesnej maksymalizacji obu parametrów. Głównym celem niniejszej pracy jest weryfikacja rozwiązania technicznego wirnika wiroplataw, w którym występuje sterowana zmiana geometrii wirnika pomiędzy dwoma wariantami. W pierwszym wariantcie geometrii wirnik zapewnia zwiększoną efektywność lotu ale charakteryzuje go zmniejszony maksymalny ciąg. W drugim wariantcie wirnik generuje zwiększony ciąg, potrzebny zwłaszcza podczas pionowego startu i lądowania. Przełączanie pomiędzy oboma wariantami zapewniają siłowniki wykorzystujące elementy z pamięcią kształtu (SMA – Smart Memory Alloys).

Problematyka badawcza przedstawiona w rozprawie doktorskiej skupia się na analizie możliwości wykorzystania elementów z pamięcią kształtu jako zespołów wykonawczych (wzmocniaczy) wymuszających zmianę cech geometrycznych łopaty wirnika nośnego dla wiroplata o projektowym ciężarze startowym $ToW = 100$ kg. Odpowiednia zabudowa elementów aktywnych w strukturze nośnej łopaty umożliwia wykorzystanie efektu morficzności kształtu skrócenia geometrycznego łopaty a tym samym rozszerzenie możliwości operacyjnych statku powietrznego.

Przyjęta ścieżka badawcza obejmuje metodyki pozwalające i umożliwiające dostarczenie odpowiedniego materiału dowodowego procesu certyfikacji zgodnie z kryteriami opisanymi przepisami prawa lotniczego (FAR, JAR). Przeprowadzone analizy objęły wszystkie aspekty problematyki aerodynamiki, dynamiki strukturalnej oraz mechaniki lotu. Podejście analityczne bazowało na strategii Co-Simulation, wykorzystując równolegle różne środowiska obliczeniowe takie jak FEM, CFD, MBD oraz algorytmy opisujące mechanikę lotu i mechanikę wytwarzania siły nośnej. Integracja wielu różnych środowisk odbyła się poprzez interfejs Matlab/Simulink. Procedura badawcza podzielona została na dwa główne bloki tj. blok analityczny oraz blok laboratoryjno-weryfikacyjny. Głównymi elementami bloku analitycznego były dobór parametrów kinematycznych wirnika oraz odpowiedni opis

strukturalny głowicy i łopat wirnika nośnego w konfiguracji zarówno referencyjnej (bez elementów wykonawczych) jak i aktywnej (wyposażonej w elementy wykonawcze).

Weryfikacja poprawności doboru parametrów konfiguracji wirnika przeprowadzona została z wykorzystaniem analizy przypadku lotu poziomego, dla którego projektowa wartość prędkości wynosi $V_d = 150$ km/h oraz przypadku zawisu dla maksymalnego ciężaru startowego. Blok laboratoryjno-weryfikacyjny obejmował aspekty aerodynamiczne i zawierał badania tunelowe łopat wirnika nośnego, testy laboratoryjne prototypu siłownika SMA z uwzględnieniem aspekty bilansu energetycznego niezbędnego do zasilenia układu SMA. Dodatkowa weryfikacja przeprowadzona została z wykorzystaniem sprawdzonych algorytmów obliczeniowych wykorzystywanych przez certyfikowaną jednostkę projektową PZL Świdnik S.A. Otrzymane rezultaty obejmują analizę mocy niezbędnej, biegunowej wirnika dla zadanych stanów lotu, jak również studium poziomu oraz rozkładu obciążeń wirnika nośnego. Przeprowadzona została również symulacja hipotetycznej misji transportowo dźwigowej wirtualnego statku powietrznego, której celem jest określenie efektywności zjawiska morficzności cech geometrycznych łopaty wirnika nośnego.

Zmniejszenie mocy wynikające z aktywacji siłowników SMA w badanym przypadku wyniosło około 3,9 kW, co oznacza zmniejszenie zapotrzebowania mocy w zawisie przez wirnik o 11% w stosunku do wirnika referencyjnego. Zmniejszenie mocy niezbędnej w zawisie potwierdziło zatem tezę, że zmiana geometrycznego kąta skręcenia poprzez układy wykonawcze SMA pozwala na optymalizację osiągow śmigłowca. Po zastosowaniu siłowników SMA uzyskano ponad 4% zmniejszenie zużycia paliwa podczas wykonywania zadań zgodnych z typowym profilem lotów dźwigowych lub przeciwpożarowych. Stanowi to istotne zmniejszenie kosztów operacyjnych wiroplata.