

Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława Dąbrowskiego

Wydział Mechatroniki, Uzbrojenia i Lotnictwa

Instytut Techniki Lotniczej

Zakład Budowy i Eksploatacji Statków Powietrznych

### **Streszczenie pracy doktorskiej**

**mgr inż. Olga Grzejszczak-Pączek**

## **WYTRZYMAŁOŚCIOWA OCENA PARAMETRÓW KONSTRUKCYJNYCH WIRNIKA SPRĘŻARKI OSIOWEJ Z UWZGLĘDNIENIEM CZYNNIKÓW EKSPLOATACYJNYCH**

Promotor: płk dr hab. inż. Adam KOZAKIEWICZ, prof. WAT

Promotor pomocniczy: ppłk dr inż. Robert ROGÓLSKI

Celem dysertacji było opracowanie metodyki wspomagającej dobór optymalnych parametrów geometrycznych i wytrzymałościowych elementów konstrukcji wirujących, w szczególności połączenia łopatka – tarcza, która pozwoliłaby w prosty sposób porównywać różne rodzaje konstrukcji m.in. pod względem kryterium masy czy wytrzymałości w różnych warunkach eksploatacyjnych. Punktem wyjścia do zrealizowania zamierzonego celu rozprawy było odwzorowanie geometrii rzeczywistych konstrukcji z wykorzystaniem technik inżynierii odwrotnej oraz zaawansowanych systemów CAD/CAE. Dało to możliwość ich oceny pod kątem wybranych kryteriów i możliwości późniejszej optymalizacji przy wykorzystaniu nowoczesnych rozwiązań.

W rozdziale pierwszym pracy omówiono podstawowe układy konstrukcyjne elementów nośnych wirników sprężarek osiowych. Przedstawiono sposoby mocowania łopatki w elemencie nośnym oraz rodzaje stosowanych połączeń w wentylatorach, sprężarkach niskiego i wysokiego ciśnienia. Wyróżniono konstrukcje typu klasycznego, z tzw. zamkiem oraz konstrukcje integralne typu BLISK (z ang. *Blade Integrated Disk*). Omówiono także materiały stosowane do wytwarzania elementów sprężarki turbinowego silnika odrzutowego oraz czynniki eksploatacyjne wpływające na ich trwałość i niezawodność. Dokonano przeglądu metod stosowanych do obliczeń wytrzymałościowych podzespołów wirnika sprężarki. Przedstawiono główne zależności metody analitycznej i numerycznej, w tym przypadku metody elementów skończonych (MES). Dokonano także przeglądu aktualnego stanu zagadnienia zastosowania MES i parametryzacji w analizie stopnia wirnikowego sprężarki. Zwrócono tutaj szczególną uwagę na najbardziej newralgiczny obszar konstrukcji, pod względem wytrzymałościowym, jakim jest mocowanie pióra łopatki wirnikowej do części wieńcowej tarczy.

W rozdziale drugim przedstawiono szczegółowo proces projektowania wirtualnego stopnia wirnikowego sprężarki osiowej z uwzględnieniem odwzorowania rzeczywistej geometrii obiektu. Omówiono budowę modeli na potrzeby numerycznych analiz strukturalnych i przepływowych. Opisano rodzaje siatek numerycznych, warunki brzegowe i rodzaj zastosowanego kontaktu. W końcowej części rozdziału przedstawiono algorytm projektowania

stopnia integralnego typu BLISK bazując na odtworzonej geometrii stopnia wirnikowego sprężarki silnika turbowentylatorowego. Zaproponowano schemat modyfikacji bazowej geometrii modelowej odwzorowującej klasyczny układ z połączeniem zamkowym.

Rozdział trzeci przedstawia opracowane modele parametryczne obu zaprojektowanych konstrukcji. Modele te pozwalają na bieżącą aktualizację całej geometrii po wprowadzeniu zmian wskazanego parametru. Zdefiniowano charakterystyczne cechy każdej z konstrukcji jako zmienne decyzyjne, w celu sprawdzenia określonej liczby wariantów obliczeniowych. W konstrukcji klasycznej, gdzie występuje połączenie zamkowe, były to główne parametry geometryczne zamka: P1 – kąt szerokości (tj. kąt pochylecia powierzchni bocznych zamka) i P2 – kąt definiujący grubość zamka łopatki. W przypadku konstrukcji integralnej, parametry wymiarujące grubość tarczy wirnikowej w części wieńcowej, wymiar V14 i V12. W kolejnych częściach rozdziału przedstawiono wyniki analizy parametrycznej przy uwzględnieniu obciążenia od sił masowych oraz sprzężonej analizy przepływowo-strukturalnej. Przeprowadzona analiza miała na celu ocenę wybranych parametrów geometrycznych, pod kątem ich wpływu na główne własności wytrzymałościowe stopnia wirnikowego, w tym:

- wpływu kąta szerokości zamka i kąta grubości zamka na maksymalne naprężenia zredukowane, przemieszczenia i odkształcenia względne,
- wpływu grubości części wieńcowej tarczy na maksymalne naprężenia zredukowane, przemieszczenia i odkształcenia względne, w przypadku konstrukcji integralnej.

W rozdziale czwartym przedstawiono wyniki analizy wrażliwości, której celem była ocena wybranych własności wytrzymałościowych stopnia wirnikowego sprężarki pod kątem ich wrażliwości na zmiany określonych parametrów geometrycznych z uwzględnieniem interakcji płyn – struktura, w tym:

- 1) czułości maksymalnych przemieszczeń całkowitych i naprężeń zredukowanych na zmiany parametru P1 i P2 dla konstrukcji klasycznej z połączeniem zamkowym;
- 2) czułości maksymalnych przemieszczeń całkowitych i naprężeń zredukowanych na zmiany parametru V12 i V14, definiujących grubości przedniej i tylnej części wieńcowej tarczy w konstrukcji integralnej.

Wyniki podano w formie wykresów słupkowych oraz powierzchniowych funkcji odpowiedzi przedstawiających zależność zmiennych wyjściowych (naprężeń i przemieszczeń) od zadanych parametrów wejściowych, w tym przypadku: kąta szerokości (P1), kąta grubości zamka łopatki (P2) i grubości wieńca tarczy konstrukcji.

Rozdział piąty zawiera podsumowanie i wnioski końcowe odnoszące się do wyników realizacji działań badawczych przeprowadzonych według zaproponowanej metodyki. Dotyczą one między innymi zastosowania metod odwzorowania geometrii, które, jak pokazano, wspomagają budowę szczegółowych modeli parametrycznych, w tym połączeń zamkowych podzespołów wirnikowych silnika turbinowego. Potwierdzono, że opracowana metodyka pozwala na przeprowadzenie analizy konstrukcji stopnia wirnikowego pod kątem wytrzymałościowym, poprzez zmianę parametrów geometrycznych i obciążeń oraz pozwala w prosty sposób porównywać różne rodzaje konstrukcji. Podkreślono również, że zaproponowana metodyka stanowić może dobre narzędzie wspomagające proces projektowania i optymalizacji konstrukcji zespołów wirnikowych, w tym głównie optymalizacji kształtu połączeń łopatek z tarczami przy uwzględnieniu czynników eksploatacyjnych.