

prof. dr hab. inż. Andrzej Żyłuk
Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych
ul.Ks. Bolesława 6
01-494 Warszawa

Warszawa 29.04.2021 r.

RECENZJA

Rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Michała KUŹNIARA
**p.t. "WIELOKRYTERIALNA OCENA DOBORU NAPĘDÓW LOTNICZYCH NOWEJ
GENERACJI Z WYKORZYSTANIEM METOD ENERGETYCZNYCH"**
wykonanej
w Politechniki Rzeszowskiej
pod kierownictwem
prof. dr. hab. inż. Marka ORKISZA

1. Wprowadzenie

Tematyka rozprawy dotyczy jednego z najważniejszych i najbardziej aktualnych problemów napędów lotniczych, wpisując się w światowy trend poszukiwania ekologicznych, tzw. zielonych źródeł napędu statków powietrznych. Przedmiotem pracy doktorskiej mgr. inż. Michała Kuźniara była wykonana metodą energetyczną ocena efektywności wybranych napędów lotniczych. Kandydat podjął próbę opracowania napędu rozproszonego motoszybowca AOS H2, poddając analizie dwa warianty źródeł energii hybrydowy wykorzystujący ogniwo wodorowe oraz układ hybrydowy wykorzystujący silnik spalinowy (Wankel TGi 407) jako źródło energii doładowujące akumulator.

Podjęte przez Doktoranta badania są aktualne i ważne nie tylko z naukowego ale także użytecznego punktu widzenia. Kandydat opracował model dystrybucji energii na pokładzie statku powietrznego w zależności od wykonywanej misji (trajektorii lotu) i rodzaju napędu. W świetle analizy światowej literatury oraz istniejących rozwiązań konstrukcyjnych uważam, że opracowanie Doktoranta jest oryginalne i wnosi wartościowe elementy w nurt badań nad ekologicznymi napędami statków powietrznych.

Treść pracy nawiązuje w sposób właściwy do jej tytułu, a nazwy rozdziałów przedstawiają spójną całość, dając syntetyczny pogląd na rozważaną treść.

2. Omówienie treści rozprawy

Recenzowana rozprawa jest przedstawiona na 111 stronach. Składa się z dziewięciu rozdziałów oraz czterech załączników. Zawiera 25 tabel (w tym 3 tabele w załącznikach) i jest zilustrowana przez 66 ilustracji (w tym 11 ilustracji w załącznikach). Spis literatury zawiera 98 pozycji.

Ze względów metodycznych całość rozprawy można podzielić na:

Część metodologiczną, obejmującą rozdziały 1. 2 i 3 (19 stron), w której Autor przedstawił genezę podjętych badań, rys historyczny rozwoju ekologicznych napędów lotniczych, ich klasyfikację oraz uwarunkowania prawne i polityczne związane ze zmniejszeniem emisji CO₂. Swoją uwagę skoncentrował na opisie aktualnie istniejących rozwiązań dokonując ich krytycznej analizy. Na podstawie analizy literatury oraz obecnego stanu wiedzy mgr inż. Michał Kuźniar sformułował zakres i cele rozprawy. Zasadniczym celem pracy doktorskiej Kandydata było opracowanie modelu dystrybucji energii na pokładzie statku powietrznego w zależności od wykonywanej misji (trajektorii lotu) i rodzaju napędu. Celami pobocznymi było:

- opracowanie metodyk umożliwiających na etapie projektu wstępnego dopasowanie charakterystyk napędu do wymogów aerodynamicznych i energetycznych statku powietrznego,
- przeprowadzenie metodami energetycznymi analiz parametrów wybranych napędów lotniczych prowadzących do uzyskania jednoznacznych parametrów porównawczych,
- ocena efektywności zastosowania napędu rozproszonego na lekkim statku powietrznego.

Zakres podjętych przez mgr inż. Michała Kuźniara prac obejmował:

- przegląd literatury dotyczącej elektrycznych i hybrydowych napędów lotniczych,
- wyznaczenie zasięgu i długotrwałości lotu samolotu z napędem hybrydowym metodą energetyczną,
- wyznaczenie charakterystyk technicznych motoszybowca AOS H2 oraz danych technicznych proponowanych źródeł energii do napędu statku powietrznego,
- opracowanie metodyki doboru rozproszonego zespołu napędowego do samolotu oraz dobór takiego napędu i jego konfiguracji do motoszybowca AOS,
- dobór śmigieł o małej średnicy współpracujących z silnikiem elektrycznym do zastosowania w napędzie rozproszonym oraz dobór śmigła do napędu rozproszonego dla motoszybowca AOS,
- analizę CFD napędu rozproszonego oraz charakterystyk aerodynamicznych samolotu AOS z napędem rozproszonym,
- analizę wpływu napędu rozproszonego na poprawę wskaźników energetycznych, osiągowych i ekologicznych motoszybowca AOS H2,
- ocenę wpływu zastosowania napędu rozproszonego na poprawę wskaźników

energetycznych, osiągowych i ekologicznych motoszybowca z rozproszonym napędem elektrycznym.

Można zatem stwierdzić, że Doktorant podjął się opracowania schematu działań umożliwiających opracowanie metodyki kompleksowej analizy napędu rozproszonego w którym źródłem energii do zasilania elektrycznych silników marszowych jest zespół akumulatorów współpracujących z wodorowym ogniwem paliwowym lub generatorem opartym na silniku spalinowym. Podjęte przez mgr inż. Michała Kuźniara badania wpisują się w ideę nowego paradygmatu „*Efektywniej, Ekonomiczniej, Ekologiczniej – 3E*”. Bazując na płatowcu motoszybowca AOS H2, Doktorant dobrał napęd rozproszony, określając jego parametry geometryczne oraz wybierając silniki marszowe.

Część teoretyczno – obliczeniową oraz doświadczalną obejmującą rozdziały 4, 5, 6, 7, 8 oraz 9 (56 stron), w której Doktorant opisał obiekt badań, rozproszony napęd elektryczny samolotu.

W rozdziale czwartym przedstawił metodę energetyczną wyznaczenia osiągow samolotu w locie koncentrując się na obliczeniach zasięgu i długotrwałość lotu. W oparciu o opracowaną metodykę obliczeń Doktorant ocenił energię potrzebną do startu oraz wznoszenia motoszybowca na zakładaną wysokość. Następnie obliczył wartość pozostałej po tym manewrze energii oraz ocenił długotrwałości lotu.

W rozdziale piątym zostały przedstawione charakterystyki techniczne motoszybowca AOS H2 oraz dane techniczne proponowanych źródeł energii do napędu statku powietrznego.

W rozdziale szóstym Doktorant przedstawił metodykę doboru rozproszonego zespołu napędowego samolotu. Opierając się na założeniach przedstawionych w rozdziale 5 i przytoczonej w podrozdziale 2 metodyce obliczeniowej Doktorant skonfigurował napęd rozproszony do motoszybowca AOS.

W rozdziale siódmym Doktorant omówił sposoby doboru śmigieł o małej średnicy współpracujących z silnikami elektrycznymi układu rozproszonego napędu samolotu. Dobór śmigła oparł o założenie wykorzystania 10 silników oraz śmigieł o profilu rodziny Clark-Y. Dla przyjętej konfiguracji napędu rozproszonego Doktorant oszacował masy elementów zespołu napędowego i porównał je z masą napędu skupionego. Przeprowadzona analiza wykazała, że odpowiednio skonfigurowany napęd rozproszony może pracować z większą sprawnością. Dzięki większej sprawności śmigieł silniki pobierają niższą wartość mocy z pokładowych źródła energii. Przekłada się to na mniejszy pobór prądu i zwiększa długotrwałość lotu.

W rozdziale 8 Doktorant przedstawił analizę CFD charakterystyk aerodynamicznych rozproszonego zespołu napędowego. Obliczył wartości współczynników sił aerodynamicznych motoszybowca AOS w konfiguracji z napędem rozproszonym. Celem analiz CFD było określenie skali zysków zastosowania napędu rozproszonego na motoszybowcu AOS. Obliczenia CFD motoszybowca z napędem rozproszonym pozwoliły na wyznaczenie współczynników siły nośnej i oporu. W wyniku

przeprowadzonych analiz wyznaczono zmianę rozkładu ciśnień i prędkości na skrzydle oraz współczynników sił aerodynamicznych skrzydła. Uzyskane wyniki pozwoliły na określenie wpływu napędu na zmianę współczynników aerodynamicznych skrzydła, a tym samym polepszenie osiągnięć motoszybowca. W rezultacie dla zakresu przelotowego uzyskano współczynnik siły nośnej $C_Z=0,926$ oraz współczynnik siły oporu $C_X=0,031$. W stosunku do charakterystyk aerodynamicznych motoszybowca z masztem silnikowym, współczynnik siły nośnej C_Z wzrósł o 6,8%, natomiast współczynnik oporu C_X spadł o około 10%.

W rozdziale dziewiątym Doktorant przedstawił analizy wpływu zastosowania napędu rozproszonego na poprawę wskaźników energetycznych, osiągowych i ekologicznych motoszybowca. W porównaniu do wartości zasięgu i długotrwałości lotu dla motoszybowca z napędem skupionym stwierdzono wzrost zasięgu o około 39 km i czasu lotu o około 24 minuty. Przekłada się to na 19 % poprawę osiągnięć motoszybowca z napędem rozproszonym. Wskaźnik zużycia energii w przeliczeniu na jeden kilometr, (lub na jedną godzinę lotu), uległ zmniejszeniu o około 17 %. Dzięki zastosowaniu napędu rozproszonego uzyskano obniżenie emisji spalin i zużycia paliwa o 16%.

Całość pracy kończy podsumowanie, w którym Autor odniósł się do własnych dokonań naukowych formułując wnioski oraz kierunki dalszych badań.

3. Ocena merytoryczna rozprawy

Doktorant w swojej pracy podjął próbę opracowania wielokryterialnej metody oceny doboru napędów lotniczych nowej generacji. Opracowana przez Doktoranta metoda wykorzystuje nowoczesne podejście energetyczne. Kandydat wykazał, że poszczególne elementy napędu rozproszonego mogą pracować w czasie różnych etapów lotu. Udowodnił, że można wykorzystywać tego typu napęd do różnicowania ciągu i sterowania statkiem powietrznym. Odpowiednie kierunkowanie ciągiem zespołu napędowego tego typu może wyeliminować powierzchnie sterowe statku powietrznego.

Reasumując stwierdzam, że podjęty przez Doktoranta problem badawczy został sformułowany poprawnie, tak pod względem obszaru merytorycznego, jak i głębi prowadzonych rozważań, analiz, obliczeń i badań w locie. Z punktu widzenia określonych celów, przyjęta koncepcja badań jest w pełni uzasadniona, a zastosowane narzędzia i metody badawcze są do niej adekwatne. Stwierdzam, że zarówno materiał badawczy, jak i literaturowy został przez Autora rozprawy wykorzystany poprawnie. Na podstawie treści pracy można w sposób jednoznaczny ocenić wkład własny Doktoranta np. w poznanie technik modelowania złożonych obiektów mechatronicznych, a w szczególności napędów lotniczych nowej generacji.

Praca jest ilustrowana 66 rysunkami, wykonanymi czytelnie i jednoznacznie oraz logicznie wplecionymi w jej treść. Ułatwia to zrozumienie prezentowanych przez Autora rozważań. Treści poszczególnych rozdziałów właściwie wynikają po sobie, tworząc spójną całość.

Uważam przy tym, że pod względem metodycznym i redakcyjnym praca zawiera następujące:

Niedociągnięcia

- Praca zawiera kilka drobnych błędów redakcyjnych, szczegółowe informacje na ich temat przekazałem Doktorantowi.
- Zbyt ogólny opis symulacji CFD, np. brak informacji o modelach turbulencji.
- Zdarzające się skróty myślowe, zamienne używanie sformułowania samolot/motoszybowiec.

Zalety

- Bardzo obszerny zakres problemowy pracy dający pogląd na ważność podjętej tematyki.
- Opracowanie metodyk umożliwiających na etapie projektu wstępnego dopasowanie charakterystyk napędu do wymogów aerodynamicznych i energetycznych statku powietrznego.
- Przeprowadzenie metodami energetycznymi analiz parametrów wybranych napędów lotniczych prowadzących do uzyskania jednoznacznych parametrów porównawczych.
- Dokonanie oceny efektywności zastosowania napędu rozproszonego na motoszybowcu.

Należy przy tym podkreślić, że przeprowadzone przez mgr. inż. Michała Kuźniara analizy i obliczenia stanowią zarazem genezę pracy, a także wypuklają nowe elementy opracowanej przez Niego metody badań hybrydowych napędów lotniczych. Uważam, że wszystkie cele pracy zaprezentowane w rozdziale 3 zostały zrealizowane.

4. Podsumowanie

Przedstawiona do recenzji praca jest ciekawa i nowatorska. Autor wykazał się orientacją w badanej problematyce. Potrafił wyodrębnić najistotniejsze problemy badawcze oraz określić sposoby i metody adekwatne do ich rozwiązania.

Do najważniejszych osiągnięć Doktoranta zaliczam:

- przegląd i podsumowanie istniejących rozwiązań dotyczących nowoczesnych lotniczych zespołów napędowych,
- opracowanie metodyki badań wielokryterialnej oceny doboru napędów lotniczych nowej generacji z wykorzystaniem metod energetycznych w obszarze użytkowania statków powietrznych,
- oparcie rozważań obliczeniowych na motoszybowcu AOS H2, w którym źródłem energii jest ogniwo wodorowe,
- podjęcie tematu zastosowania napędu rozproszonego do napędu statku powietrznego,
- przedstawienie autorskiej metody doboru śmigła o małej średnicy, metoda ta została opracowana w oparciu o literaturę przedmiotu oraz istniejący sposób doboru śmigła do silnika spalinowego tłokowego,
- określenie uwarunkowania geometrycznego wpływającego na poprawę

- efektywności napędu rozproszonego,
- wskazanie w pracy na podstawie obliczeń i analiz CFD wpływu zastosowania napędu rozproszonego na osiągi aerodynamiczne samolotu,
 - wskazanie wpływu zastosowania napędu rozproszonego na poprawę wskaźników energetycznych (zmniejszenie zużycia energii zgromadzonej na pokładzie w odniesieniu do czasu i dystansu pokonanego w czasie lotu) i wskaźników ekologicznych (obniżenie zużycia paliwa i emisji związków szkodliwych zawartych w spalinach w odniesieniu do czasu i dystansu pokonanego w czasie lotu, dla wariantu gdzie źródło energii elektrycznej stanowi silnik o wirującym tłoku),
 - przedstawienie potrzeby badań optymalizacji konstrukcji napędu rozproszonego w celu polepszenia parametrów taktyczno-technicznych obiektu.

5. Wniosek końcowy

Reasumując, uważam, że rozprawa doktorska mgr. inż. Michała KUŹNIARA pt.: *"Wielokryterialna ocena doboru napędów lotniczych nowej generacji z wykorzystaniem metod energetycznych"* spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim, określone w art.187 ust.1 Ustawy z dnia 20.07.2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2020 r. poz. 85 z późn. zm.)

W związku z powyższym, przedstawiam Szanownej Radzie wniosek o dopuszczenie Pana mgr. inż. Michała KUŹNIARA, do publicznej obrony i przyjęcia ww. pracy, jako podstawy do nadania stopnia naukowego doktora nauk inżynieryjno-technicznych.

