

Poznań, 12.03.2021 r.

Dr hab. inż. Jarosław Markowski, prof. uczelni
Instytut Konstrukcji Maszyn
Wydział Inżynierii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej
ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Michała Kuźniara pt.

Wielokryterialna ocena doboru napędów lotniczych nowej generacji z wykorzystaniem metod energetycznych

Podstawa opracowania: pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza RM-530-22-04/2020/21 z dnia 28 stycznia 2021 roku oraz ustawa z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z dnia 2018 roku, poz.1669). Ustawa z 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (tekst jednolity Dz. U. z 2016 roku poz. 882 ze zmianą: Dz. U. z 2016 roku poz. 1311) oraz Rozporządzenie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 26 września 2016 roku w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzenia czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz. U. z 2016 roku poz. 1586).

1. Podstawowe informacje o Doktorancie

Pan mgr inż. Michał Kuźniar stopień magistra inżyniera uzyskał 26.06.2014 kończąc w ten sposób dwustopniowe studia na Wydziale Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej, o kierunku Lotnictwo i Kosmonautyka, w specjalności silniki Lotnicze. Tematem pracy dyplomowej było „*Opracowanie charakterystyk obrotowych silnika DGEN-380 z wykorzystaniem badań na symulatorze*”, a promotorem był dr inż. Robert Jakubowski.

Doktorant nie ubiegał się wcześniej o uzyskanie stopnia doktora.

Doświadczenie zawodowe Doktoranta związane jest z pracą w Hamilton Sundstrand Poland Sp. z o.o. (PrattWhitney AeroPower Rzeszów) w okresie 2014-2015, gdzie pracował na stanowisku młodszego konstruktora i zajmował się – wsparciem bieżącej produkcji silników APU. W roku 2015 pracował dla Teknia Automotive Rzeszów S.A. jako technolog i był

odpowiedzialny za tworzenie dokumentacji technologicznej oraz wsparcie bieżącej produkcji części samochodowych z tworzyw sztucznych.

Od października 2015 roku pracuje w Politechnice Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza, na Wydziale Budowy Maszyn i Lotnictwa, w Katedrze Inżynierii Lotniczej i Kosmicznej na stanowisku asystenta. Brał udział w wielu pracach naukowo-badawczych w tym również w ramach programów badawczych realizowanych przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (Lider 4, INNOLOT, PBS) oraz w projekcie międzynarodowym: Trajectory based Free routing – PJ06 ToBeFREE SESAR 2020 jako analityk, gdzie zajmował się między innymi – wyznaczaniem parametrów eksploatacyjnych zespołu napędowego w czasie planowanej misji.

2. Charakterystyka rozprawy

Rozprawa doktorska mgr. inż. Michała Kuźniara pt. „*Wielokryterialna ocena doboru napędów lotniczych nowej generacji z wykorzystaniem metod energetycznych*” została wydana w formie maszynopisu na Politechnice Rzeszowskiej, Wydziale Mechanicznym w 2020 roku. Promotorem pracy jest prof. dr hab. inż. Marek Orkisz oraz promotorem pomocniczym jest dr inż. Piotr Wygonik.

Praca jest obszerna, została zawarta na 112 stronach maszynopisu. W pracy znajdują się 68 ilustracje oraz 24 tabel. Bibliografia składa się z 98 pozycji: naukowych, aktów prawnych, materiałów o charakterze informacyjnym i technicznym oraz odwołań do stron internetowych. Artykuły naukowe, na które autor powołuje się w swojej rozprawie to w większości publikacje o zasięgu międzynarodowym zarówno autorów krajowych jak i zagranicznych, mające związek z zagadnieniem podjętym w rozprawie. W tym 11 pozycji literaturowych stanowią artykuły współautorskie Doktoranta.

3. Ocena wyboru tematyki rozprawy

Potencjał rozwojowy lotnictwa z przed obecnie trwającą sytuacją światowej pandemii COVID-19, utrzymywał na stałej wartości około 6% zwiększenia w stosunku do roku poprzedniego. Taka sytuacja dotyczyła wszystkich sektorów gospodarczych związanych bezpośrednio z szeroko rozumianym lotnictwem, zaczynając od ruchu lotniczego, zużycia paliwa lotniczego, sektora obsługowego lotnictwa oraz produkcji samolotów. Sytuacja ta dotyczyła

również sektora produkcji małych samolotów stanowiących w większości lotnictwo ogólne. Zapotrzebowanie na małe statki powietrzne, których obecne konstrukcje są intensywnie rozwijane za sprawą zastosowania nowych materiałów do ich budowy, wprowadza potrzebę opracowywania nowych układów napędowych. Układy te mają charakter wysoce spersonalizowany dla danej konstrukcji samolotu. Personalizacja układu napędowego powoduje, że tematyka związana z oceną doboru napędów lotniczych nowej generacji z wykorzystaniem metod energetycznych, która została podjęta w niniejszej dysertacji jest wysoce aktualna.

Dodatkowo konieczność uwzględnienia czynników ekologicznych, na które Autor zwraca uwagę i wprowadza w zakres prowadzonych analiz, a która do niedawna w eksploatacji małych statków powietrznych była pomijana, podkreśla nowy charakter obszaru prowadzonych prac. Rozwój konstrukcji statków powietrznych stawia nowe wymagania technologiczne elementom konstrukcji wynikające z ich warunków eksploatacji. W odniesieniu do układów napędowych, stawiane są większe wymagania związane z parametrami eksploatacyjnymi i ekologicznymi, przy jednoczesnym oczekiwaniu dużej trwałości. Stanowi to nowe wyzwania technologiczne i materiałowe oraz konstrukcyjne w zakresie rodzaju urządzeń wchodzących w skład układów napędowych. Wszystko to potwierdza aktualność podjętego przez Doktoranta tematu. Przedstawione w pracy autorskie badania stanowią istotny wkład w niniejsze zagadnienia technologiczne. Potwierdzają możliwość wykorzystania nowoczesnych technik analitycznych i symulacyjnych do opracowania i poprawy właściwości eksploatacyjnych napędów nowoczesnych statków powietrznych.

4. Ocena treści rozprawy

Rozdział pierwszy pt.: „Wiadomości wstępne” zajmuje 2 strony i zakończony jest krótkim uzasadnieniem podjęcia tematu. W rozdziale tym autor zwraca uwagę na paradygmat towarzyszący lotnictwu od samego początku jego rozwoju ”Wyżej, Szybciej, Dalej” i wskazuje, że obecnie traci on na znaczeniu i zostaje zastępowany coraz częściej takimi wyzwaniami związanymi ze słowami „Efektywniej, Ekonomiczniej, Ekologiczniej” popierając go danymi literaturowymi. Wskazuje na organizowane programy badawczo-rozwojowe wspierające dążenia do zmniejszenia negatywnego oddziaływania lotnictwa na środowisko naturalne. Wskazuje na istnienie wielu metod i sposobów na działanie w tym zakresie, spośród których wskazuje poszukiwanie nowych rozwiązań konstrukcji statków powietrznych oraz nowych rozwiązań

układów napędowych, jako interesującą w aspekcie poprawy własności ekologicznych i ekonomicznych statków powietrznych w najbliższej przyszłości.

Rozdział drugi pt. „Przegląd literatury oraz istniejących rozwiązań” ma charakter dydaktyczny. Przedstawione w nim stan wiedzy i istniejące rozwiązania są ściśle związane z tematyką rozprawy. Zawarto w nim opis strukturalny występujących napędów oraz ich zalety i wady związane z ich konstrukcją jak i cechami eksploatacyjnymi. W treściach rozdziału zawarto analizę literaturową z zakresu koncepcyjnych układów napędowych na podstawie, której Doktorant ustosunkował się do informacji przedstawianych w przytaczanych treściach bibliograficznych. W drugiej części rozdziału przedstawiono wnioski wynikające z przeglądu literatury przedmiotu, podkreślając pewne braki w zakresie interpretacji właściwości eksploatacyjnych napędów elektrycznych o charakterze rozproszonym w obszarze analiz energetycznych. Rozdział podsumowano wskazując na zainteresowanie badawcze w tym zakresie.

W **rozdziale trzecim** pt.: „Sformułowanie zadania badawczego, celu i zakresu pracy” Autor zawarł treści podkreślające przeprowadzone studium literatury i uzyskane z niego wnioski, co do braków jednoznacznego opracowania kryteriów pozwalających na porównanie cech funkcjonalnych napędów wraz z ich możliwościami dopasowania do samolotu. W związku z czym podejmuje jako zadanie badawcze przeprowadzenie analizy parametrycznej konstrukcji napędów lotniczych w aspekcie uzyskania jednoznacznych parametrów porównawczych przy zastosowaniu metod energetycznych. Doktorant w niniejszym rozdziale wskazuje na założenie związane z opracowaniem modelu dystrybucji energii na pokładzie samolotu w zależności od jego eksploatacji i rodzaju napędu. Model ten zamierza wykorzystać w ocenie doboru układu napędowego w różnych konfiguracjach.

W **rozdziale czwartym** przedstawiono metodykę wyznaczania osiągow samolotu podczas lotu na podstawie metody energetycznej. Wyznaczono długotrwałość i zasięg lotu samolotu o napędzie hybrydowym i elektrycznym. Zawarto metodologię postępowania w celu wyznaczenia energii niezbędnej do lotu samolotu.

W **rozdziale piątym** pt.: „Charakterystyki techniczne przyjęte do przeprowadzenia analizy problemu” przedstawiono parametry konstrukcyjne i eksploatacyjne obiektu, wobec którego

dokonano analizy będącej przedmiotem rozprawy. Jako podrozdziały zawarto kolejno opisy płatowca, zespołu napędowego, alternatywną koncepcję hybrydowego zespołu napędowego dedykowanego do niniejszego obiektu. Poddano oszacowaniu ilość energii zgromadzonej na pokładzie samolotu oraz sprawność zespołu napędowego w dwóch wersjach układu hybrydowego. Przedstawiono profil misji motoszybowca przyjęty do przeprowadzonych analiz porównawczych.

Rozdział szósty został poświęcony modelowaniu napędu rozproszonego dedykowanego do analizowanego motoszybowca AOS H2. Przedstawiono w nim metodykę doboru napędu do samolotu, dobór liczby zespołów silnik-śmigło dla płatowca motoszybowca i przedstawiono wyniki prowadzonych analiz w postaci ostatecznego układu konstrukcyjnego, który poddano dalszym etapom analizy i badań.

W **rozdziale siódmym** zawarto metodykę przeprowadzonego doboru śmigła przeznaczonego do rozproszonego układu napędowego w rozwiązaniu z zastosowaniem napędu silnikiem elektrycznym. Przedstawiono podstawy postępowania przy doborze śmigieł o małej średnicy do silnika elektrycznego oraz zastosowano je w analizowanym przypadku dedykowanym dla wybranego samolotu. Przedstawiono uzyskane wyniki przeprowadzonej analizy i podsumowano je konfigurując ostateczną postać napędu rozproszonego.

Rozdział ósmy zawiera Analizę CFD przeprowadzoną dla proponowanego rozproszonego zespołu napędowego. W rozdziale przedstawiono cel prowadzonych analiz, geometryczny model śmigła dedykowanego do napędu, stanowiącego obiekt badawczy oraz metodykę prowadzonych badań symulacyjnych dedykowanych samemu śmigłu. W kolejnym kroku przedstawiono analizy napędu śmigłowego w zestawieniu z płatowcem i omówiono uzyskane wyniki.

W **rozdziale dziewiątym** pt.: „Określenie osiąarów i wskaźników energetycznych samolotu” przedstawiono analizę porównawczą oceny wpływu zastosowania napędu rozproszonego na zwiększenie wskaźników energetycznych i eksploatacyjnych statku powietrznego oraz oceny wpływu na parametry ekologiczne napędów. Wykorzystano tu dane pomiarowe związków szkodliwych spalin uzyskane na stanowisku badawczym w warunkach laboratoryjnych podczas testów badawczych silnika spalinowego będącego alternatywą do silników elektrycznych rozważanych jako koncepcje napędu dedykowane do analizowanego statku powietrznego.

Rozdział dziesiąty jest obszernym zestawieniem wniosków z przeprowadzonych badań i analiz uzyskanych wyników. Rozdział został podzielony na cztery główne części w których przedstawiono wnioski w zakresie konstrukcyjnym napędu, w zakresie energetycznym, ekologicznym. W czwartej części rozdziału przedstawiono wnioski poznawcze.

W rozdziale jedenastym przedstawiono dalsze kierunki prac związanych z rozwojem przyjętej tematyki.

Dalszą część pracy stanowią zamieszczone załączniki zawierające poszerzone informacje dotyczące motoszybowca AOS H2, silnika elektrycznego AXI 8120/10, silnika Emrax 188 i ogniwa paliwowego.

Ostatecznie pracę kończy zestawienie wykorzystanej w pracy literatury i streszczenie w języku polskim i angielskim.

5. Uwagi ogólne

Przedstawiona do recenzji praca pt. „Wielokryterialna ocena doboru napędów lotniczych nowej generacji z wykorzystaniem metod energetycznych” w swej treści jest zgodna z tytułem. Jednak należy podkreślić że tytuł jest o charakterze dość ogólnym i zamieszczone w pracy treści stanowią pewien wycinek szerokiego zakresu napędów lotniczych, których nieustanny rozwój postępuje i wprowadzane są coraz nowsze generacje. W związku z tym, uważam że w rozdziale 1 pt.: „Wiadomości wstępne” mogłyby być zawarte treści kierunkujące na zawężenie obszaru zainteresowania w zakresie napędów nowej generacji do zakresu konstrukcji napędu dedykowanych małym samolotom. Ukierunkowanie takie wprowadziłoby czytelnika w sposób płynny do rozważań Autora dotyczących przeglądu literatury i istniejących rozwiązań zawartych w rozdziale 2. W rozdziale 3 pt.: „Sformułowanie zadania badawczego, celu i zakresu pracy” Doktorant nie wskazał jednoznacznie informacji, co do podjętego zadania badawczego, celu i zakresu pracy, przez co czytelnik zmuszony jest do wyszukiwania istotnych treści rozprawy. Dociekliwa analiza treści pozwala jednak dostrzec jako zadanie badawcze przeprowadzenie analizy parametrycznej konstrukcji napędów lotniczych w aspekcie uzyskania jednoznacznych parametrów porównawczych przy zastosowaniu metod energetycznych. Doktorant w niniejszym rozdziale wskazuje na założenie związane z opracowaniem modelu dystrybucji energii na pokładzie samolotu w zależności od jego eksploatacji i rodzaju napędu. Model ten zamierza

wykorzystać w ocenie doboru rozproszonego układu napędowego. Rozdziały 4 i 5 dotyczą analiz parametrów eksploatacyjnych samolotu z wykorzystaniem metody energetycznej. Zwarzywszy na dużą liczbę rozdziałów pracy, uważam że te rozdziały powinny być ze sobą połączone w jeden o nazwie "Analiza parametrów eksploatacyjnych układu napędowego motoszybowca AOS H2 na podstawie metod energetycznych". Pozostała część rozprawy została poświęcona napędowi rozproszonemu dedykowanemu dla motoszybowca AOS H2. Treści te rozdzielono na 4 rozdziały o tytułach 6 – „Model napędu rozproszonego – założenia”, 7 – „Dobór śmigieł do układu rozproszonego”, 8 – „analiza CFD osiągow rozproszonego zespołu napędowego” i 9 – „Określenie osiągow i wskaźników energetycznych samolotu”, w którego podrozdziałach przedstawiono wpływ analizy porównawcze dotyczące przyjętego do obliczeń układu rozproszonego. Uważam, że rozdziały te również należy ze sobą połączyć w jeden pt.: Analiza i badania rozproszonego układu napędowego. Merytoryczną część rozprawy kończą obszerne wnioski w zdecydowanej większości dotyczące przeprowadzonych badań i analiz rozproszonego układu napędowego, oraz kierunki dalszych prac.

Edycja pracy jest dobra. Wykresy, poza nielicznymi wyjątkami są czytelne. Liczbę błędów językowych uważam za przeciętną, a zauważone błędy i uchybienia oraz wątpliwości, jakie mi się nasunęły podczas czytania rozprawy przedstawiono poniżej jako uwagi szczegółowe.

6. Uwagi szczegółowe

Zauważone błędy i uchybienia oraz wątpliwości, jakie zauważono podczas czytania rozprawy o charakterze szczegółowym.

- W rozdziałach 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9 – pomiędzy tytułem rozdziału a tytułem pierwszego podrozdziału autor zamieszcza jedno lub dwa zdania zazwyczaj pokrywające się z tytułem pierwszego podrozdziału znajdującego się poniżej. Uważam że jest to niepotrzebne i mało wnoszące w istotę treści rozprawy.
- Str. 5 pierwszy z listy skrótów APU (ang. Auxiliary power unit) – jest „pomocniczy silnik...” – powinno być – „pomocnicza jednostka zasilająca”.
- Str. 5 drugi z listy skrótów UAV – w opisie należy usunąć słowo „dron”
- Str. 5 piąty z listy skrótów „GA – (ang. General Aviation) – obejmuje cały ruch lotniczy

(prywatny i komercyjny)” – proponuję tu zapis ...obejmuje cały ruch lotniczy z wyjątkiem lotów rozkładowych i wojskowych.

- Str. 5 drugie ze słownika pojęć – „Stopień hybrydyzacji – stosunek ilości energii zgromadzonej w akumulatorach do całkowitej ilości energii skumulowanej na pokładzie statku powietrznego” – uważam, że przedstawiona definicja jest niewłaściwa. Stopień hybrydyzacji odnosi się do napędu a nie do ilości zgromadzonej energii w różnej postaci.
- Str. 5 trzecie ze słownika pojęć – „Napęd skupiony – tradycyjnie rozwiązany napęd statku powietrznego gdzie ciąg generuje od jednego do trzech śmigieł (lub silników przepływowych), umieszczonych w gondolach podskrzydłowych, dziobie samolotu lub na maszcie”. Uważam, że definicja napędu skupionego dotyczy zastosowania jednego układu napędowego do napędu statku powietrznego. Kiedy napędów jest więcej niż jeden mamy już do czynienia z napędem rozproszonym. W zależności od liczby układów napędowych na płatowcu możemy mówić o stopniu rozproszenia napędu. Natomiast słowo „dziób” w odniesieniu do samolotu proponuję zastąpić „nosem”.
- Str. 6 w. 4: Zadnie „Z biegiem czasu, zaczęto zauważać negatywne skutki towarzyszące intensywnemu rozwojowi transportu lotniczego, w konsekwencji czego paradygmat „Wyżej, Szybciej, Dalej” stracił na swojej istotności w ostatnich latach.” uzupełnił bym zdanie o „...w ostatnich latach na rzecz ochrony środowiska.”
- Str. 7 – niewłaściwa numeracja rysunku jest Rys. 1. a powinno być konsekwentnie z pozostałymi opisami w pracy – Rys. 1.1.
- Str. 11 akapit 2: „Jeśli zespół akumulatorów jest odpowiednio dobrany do płatowca pod względem energetycznym i masowym, statek powietrzny z szeregowo-hybrydowym układem napędowym może również działać w trybie całkowicie elektrycznym. Może to być pożądane z punktu widzenia redukcji hałasu i emisji związków szkodliwych do atmosfery [7], szczególnie podczas startu i początkowego wznoszenia [11].” – Uważam, że treści w tym akapicie powinny zostać szerzej rozwinięte ponieważ przedstawione w nich tezy wykluczają się z obecnie przyjętymi prawidłowościami dotyczącymi procedury startu i wznoszenia. Statki powietrzne obecnie do startu wykorzystują wszystkie możliwe zasoby w zakresie generowania napędu aby możliwie szybko oderwać się od drogi startowej oraz możliwie szybko opuścić

obszar strefy lotniskowej CTR.

- Str. 12 Rys. 2.4.: w opisie rysunku brakuje kropki za numerem rysunku a opisy tekstowe przy wyszczególnieniu składowych przedstawianego układu hybrydowego powinny być w języku polskim.
- Str. 12 i 13 Rys. 2.5 i 2.6.: brakuje odstępu pomiędzy kropką a numerem rysunku.
- Styl piśmiennictwa Autora w rozdziale 2 jest o charakterze popularnym, a nie o charakterze naukowym. W szczególności objawiający się wtrąceniami tj.: ...zaś..., ...nie zagłębiają się w charakterystyki śmigieł..., ...gdzie oba silniki..., ...warto wspomnieć..., interesujące wydaje się być porównanie osiągow..., Przeprowadzona przez autorów analiza wydaje się być niedokładna., ... Masa startowa wynosi 550 kg z czego 170 kg przypada na akumulator li-pol. E_Fan jest platformą testową dla sprawdzenia koncepcji..., określono zużycie tejże energii..., ...bądź rozproszonych...,
- Str. 23 w. 13: „Napędy elektryczne są bardzo interesujące punktu widzenia osiągow samolotu w locie.” – proponuję użyć zwrotu – Napędy elektryczne są bardzo interesujące punktu widzenia uzyskiwanych wartości parametrów eksploatacyjnych samolotu.
- Str. 26 w. 6: Autor wymienia etapy na który dzieli się lot samolotu. Podczas startu rozróżnia fazy: rozpędzanie samolotu, oderwanie, wznoszenie do żądanej wysokości przelotowej. Drugi – lot poziomy i trzeci etap – lądowanie. Poniżej w podrozdziale 4.2. już w pierwszym akapicie pisze: „Etap od ruszenia do osiągnięcia prędkości oderwania go od ziemi nazywany jest rozbiegiem.” Występuje tu pewna nieścisłość. Dodatkowo uważam, że pomiędzy etapami lot poziomy a lądowaniem powinno znaleźć się zniżanie i podejście do lądowania.
- Str. 29 akapit drugi: Autor w przedstawianym schemacie postępowania wskazuje, że po starcie i oderwaniu się samolotu, kolejnym etapem dla którego należy wyznaczyć wartość energii jest faza rozpędzania. Zachodzi tu pewna nieścisłość ponieważ po oderwaniu samolotu od drogi startowej następuje faza wznoszenia. Warto wprowadzić tu podział fazy wznoszenia na dwie części: część początkową występującą tuż po oderwaniu i część wznoszenia właściwego.
- Str. 32 pierwsze zdanie: Autor pisze: „Zakładając długotrwałość startu oraz wysokość, na którą wznosi się samolot w oparciu o formuły z rozdziału 4.2, możliwe jest obliczenie energii

potrzebnej do wykonania tego manewru.”, nie wskazując o jaki manewr chodzi. Dalsza część rozdziału jest równie zagmatwana. Autor użył nadmierną ilość skrótów myślowych, co spowodowało utrudnienie w rozumieniu przekazywanych informacji.

- Str. 33 podpis Rys. 5.1.: W podpisie rysunku zamieszczono opis „szybowiec z napędem AOS H2” – proponuję użyć zwrotu – Motoszybowiec AOS H2, tym bardziej że w pierwszym zdaniu niniejszego rozdziału wymieniana jest nazwa „motoszybowiec AOS H2”.
- Str. 38 w. 14: Autor wskazuje na wytyczne doboru punktu współpracy silnika elektrycznego i spalinowego w układzie hybrydowym. Jednym z dwóch przedstawionych wytycznych jest „...by: – silnik elektryczny rozwijał większą moc maksymalną niż spalinowy – ma to na celu uniknięcie silnika elektrycznego;” – założenie to nie zostało spełnione na wyznaczonym punkcie wspólnej pracy na charakterystykach silników zamieszczonych na rysunku 5.10. Czy jest tu możliwy obszar tolerancji, który dopuszcza warunkowo taką sytuację? Jeśli tak, to wskazanie jego dopuszczalnych wartości w zakresie odstępstw wyjaśniłoby nasuwające się wątpliwości czytelnika.
- W rozdziałach 6 i 7 w podpisach pod rysunkami brakuje skrótu „Rys.”
- Str. 45 Tabela 6.2.: tekst i dane w komórkach tabeli w odróżnieniu od pozostałych tabel, nie zostały wyśrodkowane. W rozdziale 6 i 7 w numeracji tabel brakuje kropki za numerem tabeli. Podobnie w numeracji podrozdziałów rozdziału 6.
- Str. 51 opis do równania 7.2: gęstość powietrza jest wielkością fizyczną, a jej jednostka w układzie SI to kg/m^3 .
- Str. 62 Rys. 8.4.: proponuję usunąć kropkę z zapisu wymiaru $1,2 \cdot D$, lub dodać ją konsekwentnie w pozostałych wymiarach przedstawionych na rysunku.
- Str. 69 Tabela 8.1. występuje pusta komórka. Wartość współczynnika C_x dla napędu rozproszonego ujednolicić w zakresie liczby miejsc po przecinku.
- Str. 71, 73, 75,76: Wykresy porównawcze przedstawiane na rysunkach na wymienionych stronach można rozdzielić i przedstawić każdy z wykresów na osobnych rysunkach. Zwiększy to liczbę rysunków ale poprawi możliwości zagospodarowania stron z treściami

zamieszczanymi w poszczególnych rozdziałach.

- Str. 89 Rys. 11: błędny zapis numeracji rysunku powinien być 11.1.
- Ostatnie zdanie w rozdziale 11 jest zdaniem oczywistym i niewnoszącym nowych treści. Charakterem wyrazu zbliża się do formy tezy, a miejsce na formułowanie tez dotyczących pracy przewidziano w rozdziale 3. Proponuję to zdanie usunąć.
- W obszarze całej pracy występują zwroty wiążące niewłaściwie przymiotniki z rzeczownikami, które przykładowo przytaczam poniżej:
 - ...spadek masy – proponuję użyć zwrotu – zmniejszenie masy,
 - ...spadku emisji – proponuję użyć zwrotu – zmniejszenia emisji,
 - ...wysoka niezawodność – proponuję użyć zwrotu – duża niezawodność,
 - ...wysoka masa akumulatorów – proponuję użyć zwrotu – duża masa akumulatorów,
 - ...niska gęstość energii – proponuję użyć zwrotu – mała gęstość energii,
 - ...niskich wartościach współczynnika – proponuję użyć zwrotu – małych wartościach współczynnika,
 - ...wysokich wartości współczynnika – proponuję użyć zwrotu – dużych wartości współczynnika,
- Str. 10 w. 13: "Stosowanie napędu opartego na paliwie wodorowym..." – proponuję użyć zwrotu – Stosowanie napędu zasilanego wodorem...
- Str. 10 podpis pod rys. 2.3.: "Rys. 2.3. Paliwowe ogniwo wodorowe zbudowane do wykorzystania w motoszybowcu AOS H2" – proponuję użyć zapisu – Rys. 2.3. Ogniwo paliwowe zasilane wodorem, zbudowane do wykorzystania w motoszybowcu AOS H2
- Str. 11 w. 3: „...pobór energii zależy od osiągnięć aerodynamicznych śmigła i samolotu.” – proponuję użyć zwrotu – zużycie energii zależy od charakterystyk aerodynamicznych śmigła i parametrów eksploatacyjnych samolotu.
- Str. 11 w. 6: „...silnik spalinowy może pracować ze stałą prędkością obrotową i stałym poziomem mocy...” – proponuję użyć zwrotu – ...silnik spalinowy może pracować z ustaloną prędkością obrotową wału korbowego i ustaloną wartością obciążenia zależną od jego charakterystyki eksploatacyjnej...

- Str. 11 w. 31: „...Są to hybrydy typu plug in...” – proponuję użyć zwrotu – Są to układy hybrydowe typu plug in...
- Str. 12 w. 8: „...w którym osiąga się najwyższy moment obrotowy i odpowiadające mu najniższe jednostkowe zużycie paliwa.” – proponuję użyć zwrotu – w którym osiąga się największą wartość momentu obrotowego i odpowiadające mu najmniejsze jednostkowe zużycie paliwa.”
- Str. 13 w. 19: „...By zwiększyć możliwości osiągowie napędu statku powietrznego...” – proponuję użyć zwrotu – Dążąc do zwiększenia wartości parametrów eksploatacyjnych napędu statku powietrznego...
- Str. 16 w. 13: „...że zastosowanie napędów o większym stopniu hybrydyzacji spowoduje spadek kosztów eksploatacji (mniejsze zużycie paliwa).” – proponuję użyć zwrotu – ...że zastosowanie napędów o większym stopniu hybrydyzacji spowoduje uzyskanie mniejszych kosztów eksploatacji wynikających ze zmniejszenia zużycia paliwa.
- Str. 22 w. 4 od dołu strony: „...że zastosowanie napędów o większym stopniu hybrydyzacji spowoduje spadek kosztów eksploatacji (mniejsze zużycie paliwa).” – proponuję użyć zwrotu – ...że zastosowanie napędów o większym stopniu hybrydyzacji spowoduje uzyskanie mniejszych kosztów eksploatacji wynikających ze zmniejszenia zużycia paliwa.
- Str. 23 w. 19: „... jaką jest skomplikowanie konstrukcji oraz wzrost masy samolotu.” – proponuję użyć zwrotu – ... jaką jest skomplikowanie konstrukcji oraz zwiększenie masy samolotu.
- Str. 26 opisy równania (4.5): „ Δm – spadek masy samolotu w trakcie lotu [kg]” – proponuję użyć zwrotu – Δm – zmiana masy samolotu w trakcie lotu.
Jednostki przypisane poszczególnym parametrom składowym równania po przeliczeniu wg równania (4.5) wskazują inny wymiar fizyczny niż oczekiwany [m].
- Str. 40 Tabela 5.4.: „Hybryda wodorowa” oraz „Hybryda spalinowa” – proponuję użyć zwrotu – Układ hybrydowy z ogniwem paliwowym oraz Układ hybrydowy z silnikiem spalinowym.
- Str. 59 w. 22 i 27. „... w oparciu o ...” – proponuję użyć zwrotu – polegało na..., Wykorzystując uzyskane dane..., na podstawie...
- Str. 61, 4 zdanie od dołu strony: „Na marginesie, geometria środkowej części śmigła

zależy głównie od względów wytrzymałościowych a w tej analizie względy te nie były uwzględniane.” – Uważam, że zdanie to powinno zostać usunięte.

- Str. 79, w. 6 od dołu strony: „Urządzenie pomiarowe podawało stężenie poszczególnych badanych zanieczyszczeń w procentach w objętości kontrolnej spalin.” – proponuję użyć zwrotu – Urządzenie pomiarowe umożliwiało pomiar stężenia poszczególnych związków szkodliwych spalin w procentach objętości kontrolnej.
- Str. 81 Tabela 9.4. „Ilość [%]” oraz „Ilość [ppm]” – proponuję użyć zwrotu – Stężenie [%]” oraz „Stężenie [ppm]”
- Przedstawione w rozdziale dziesiątym wnioski stanowią bardzo obszerny materiał. Zostały podzielone na cztery główne grupy tj.: wnioski konstrukcyjne, wnioski energetyczne, wnioski ekologiczne i wnioski poznawcze. Spośród tych grup wyszczególniono po kilka wniosków szczegółowych. Tak szerokie rozwinięcie treści na etapie wnioskowania spowodowało przedstawienie w po części wniosków oczywistych. Przykładowo można tu wymienić „Napęd rozproszony powoduje komplikacje konstrukcji statku powietrznego”, „Śmigła powinny być dobrane dla jak najwyższej sprawności”.

Przytoczone wnioski można przedstawić w wersji skróconej, w treści pozostałych wyszczególnionych wniosków.

7. Podsumowanie

Niniejsza recenzja pracy Pana mgr. inż. Michała Kuźniara pt. „*Wielokryterialna ocena doboru napędów lotniczych nowej generacji z wykorzystaniem metod energetycznych*”, jest jednoznacznie pozytywna. Autor w dysertacji podjął się opracowania metodyki umożliwiającej dopasowanie już na etapie projektu wstępnych charakterystyk napędu do wymagań aerodynamicznych i energetycznych statku powietrznego. Przeprowadził analizy porównawcze wybranych parametrów konstrukcyjnych i eksploatacyjnych charakterystycznych dla analizowanych rozwiązań. Przeprowadził badania symulacyjne dla wybranych koncepcji układów napędowych statku powietrznego oraz badania stanowiskowe dla pozyskania informacji o parametrach eksploatacyjnych elementów składowych koncepcyjnych układów napędowych.

Pozyskane dane wykorzystał w przeprowadzonych analizach porównawczych przeprowadzonych wg własnego algorytmu postępowania. Uważam, że przeprowadzone przez

Doktoranta prace i uzyskane wyniki mają duże walory poznawcze i mogą być wykorzystane do opracowania wytycznych w realizacji procesów projektowania nowych konstrukcji statków powietrznych.

Pomimo przytoczonych uwag krytycznych, które w większości dotyczą kwestii edytorskich, przedstawiona praca stanowi Autorskie rozwiązanie postawionego problemu naukowego. Należy podkreślić, że przyjęta metodyka prac jest zgodna z przyjętymi zasadami realizacji prac naukowych i wskazuje na odpowiedni dobór narzędzi badawczych stanowiących przysłowiowy warsztat badawczy i naukowy doktoranta. Uzyskane wyniki posłużyły do wyciągnięcia wniosków odnoszących się do przyjętych założeń rozprawy. Przeprowadzone przez mgr. inż. Michała Kuźniara prace stanowią autorski wkład naukowy i uzupełnienie prac z zakresu projektowania w dziedzinie konstrukcji i eksploatacji maszyn w dyscyplinie inżynierii mechanicznej.

Reasumując stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr. inż. Michała Kuźniara pt. *„Wielokryterialna ocena doboru napędów lotniczych nowej generacji z wykorzystaniem metod energetycznych”* spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim w rozumieniu Ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 roku, poz.1669), Ustawy z 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (tekst jednolity Dz. U. z 2016 roku poz. 882 ze zmianą: Dz. U. z 2016 roku poz. 1311) oraz Rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 26 września 2016 roku w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzenia czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz. U. z 2016 roku poz. 1586). W związku z tym przedstawiona rozprawa stanowi podstawę do dopuszczenia mgr. inż. Michała Kuźniara do publicznej obrony oraz nadania stopnia naukowego doktora nauk technicznych.

