

Dr hab. inż. Józef Drewniak, em. Prof. UBB

Bielsko-Biała, 19. I. 2024 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Krzysztofa Matei
pt. "The Method of Increasing the Flight Endurance of Vertical Take-Off
and Landing Unmanned Aerial Vehicle"

(Metoda zwiększania czasu trwania i zasięgu lotu bezzałogowego statku powietrznego
pionowego startu i lądowania)

Promotor rozprawy:

dr hab. inż. Wojciech Skarka, Prof. PŚl w Gliwicach

1. Wprowadzenie

Podstawą opracowania niniejszej recenzji jest Pismo RDIME/277/51/2023 Pani Profesor dr hab. inż. Ewy Majchrzak – Przewodniczącej Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Śląskiej z dnia 25 października 2023 roku.

Celem recenzji jest ocena rozprawy doktorskiej pod względem formalnym, metodycznym i merytorycznym oraz wydanie opinii podsumowującej oceny częściowe i jednocześnie potwierdzającej oryginalność rozwiązania problemu naukowego zgodnie z Ustawą z dnia 20 lipca 2018 roku - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2018 poz. 1668). Na tej m.in. podstawie można bowiem stwierdzić, że Doktorant posiada wiedzę, kompetencje i umiejętność prowadzenia badań doświadczalnych i teoretycznych w dyscyplinie naukowej Inżynieria Mechaniczna.

2. Analiza i ocena rozprawy pod względem formalnym

Bezzałogowe statki powietrzne (BSP) zastępują coraz częściej załogowe statki powietrzne. Znajdują bowiem zastosowanie np. w ratownictwie w tym nawet podczas klęsk żywiołowych, poszukiwaniach zaginionych, obserwacji i prognozowaniu pogody, rolnictwie, kartografii, obserwacji przyrody oraz w transporcie i systemach dostaw. Oczywiście takiej popularności BSP nie mogą zapewnić elektryczne napędy akumulatorowe z powodu niskiej pojemności baterii lub akumulatorów, bo zapewniających tylko najwyżej czterogodzinny lot w przeciwieństwie do BSP wyposażonych w systemy zasilania hybrydowego, tj. wykorzystujące energię słoneczną do ładowania akumulatorów. Jeszcze lepsze wyniki osiągają BSP wyposażone w dużo droższe podwójne zasilanie hybrydowe składające się z ogniw słonecznych i ogniw paliwowych z wodorem, metanem lub metanolem, czyli wykorzystujące energię słoneczną i chemiczną. Te BSP wyposażone są także w dwa rodzaje silników elektrycznych napędzających oddzielne śmigła. Można tutaj wspomnieć także o BSP z napędem odrzutowym.

Zgodnie z [Howard Smith and Parvathy Rajendran: Review of the Elementary Aspect of Small Solar-powered Electric Unmanned Aerial Vehicles. Aust. J. Basic & Appl. Sci., 8(15): 252-259, 2014]] pierwszy lot bezzałogowego statku powietrznego został wykonany 4 listopada 1974 roku w Stanach Zjednoczonych. Był to Sunrise I o rozpiętości

Biuro Dziekana

.str. 1

wpłynęło dnia 23.01.2024
RDIME 121/51/2024
Prz.

skrzydeł 9,76 m i masie 12,25 kg. Lot trwał tylko niecałe pół godziny. Po 45 latach, tj. w 2019 roku platformowo-stacyjny BSP Zephyr 8/S firmy Airbus przeszedł udane testy na wysokości 23,2 km, **spędzając w powietrzu łącznie 26 dni. Rozpiętość jego skrzydeł wynosiła 25 m, masa 65 kg, masa obciążenia 5 kg (wg Airbus QinetiQ Zephyr).**

Według raportu drugiej co do wielkości na świecie firmy świadczącej usługi profesjonalne Price water House-Coopers (PwC) and Interact Analysis światowy rynek zastosowań UAV przekroczył w 2022 roku 20 miliardów dolarów. W latach 2016–17 United Business Media (UBM) odnotowało 30% wzrost liczby bezzałogowych statków powietrznych i 40% w latach 2017–2018. Natomiast roczny raport Agencji Lotnictwa i Kosmonautyki Federalnej (FAA) w Stanach Zjednoczonych podaje, że zakup bezzałogowych statków powietrznych w 2020 roku sięgnął siedmiu milionów sztuk.

Dotychczas opracowano i sprawdzono ograniczoną liczbę systemów fotowoltaicznych do zasilania BSP. Wyniki badań nie są zadowalające głównie z powodu niskiej sprawności, efektywności (czasu trwania lotu i zasięgu) oraz niezawodności, co wyraźnie wskazuje na konieczność prowadzenia dalszych kompleksowych badań rozwojowych, projektowych i optymalizacyjnych solarnych systemów zasilania o niskiej (LALE), średniej (MALE) i dużej wysokości lotu (HALE) BSP. Oczywiście wyniki rozwojowych prac badawczych mogłyby być wykorzystane także w BSP zasilanych w energię elektryczną na ziemi.

W związku z powyższym można stwierdzić już na podstawie spisu treści i Wprowadzenia, że badania przedstawione w rozprawie doktorskiej Pana mgr inż. Krzysztofa Matei dobrze wpisują się w zapotrzebowanie uzupełnienia oraz skompletowania wiedzy o problemach związanych z badaniami fotowoltaicznych napędów BSP. Mianowicie Doktorant opracował kompleksową metodykę badań słonecznych napędów BSP mających m.in. na celu zwiększenie ich czasu lotu.

Maszynopis recenzowanej rozprawy doktorskiej składa się z następujących dziewięciu rozdziałów, z których każdy dzieli się na podrozdziały oraz kończy krótszym lub dłuższym podsumowaniem:

- I. Wprowadzenie
- II. Przegląd literatury
- III. Metody
- IV. Wstępne wyniki weryfikacji
- V. Studium przypadku
- VI. Dostrajanie modeli symulacyjnych
- VII. Wyniki
- VIII. Weryfikacja.
- IX. Podsumowanie.

Treść główną rozprawy poprzedza Spis treści i Lista używanych Akronimów oraz Symboli, natomiast kończy Bibliografia (98 pozycji i 54 adresy internetowe) oraz Streszczenia w językach angielskim i polskim. Ponadto rozprawa doktorska liczy 123 strony, 94 rysunki (jak się później okaże zbyt mało) oraz 28 tabel. Większość publikacji stanowią artykuły naukowe z ostatnich pięciu, a najwyżej dziesięciu lat, co oznacza, że

podjęta tematyka rozprawy doktorskiej wpisuje się w najnowsze i nadal aktualne trendy badawcze.

Już na podstawie spisu treści można stwierdzić, że struktura rozprawy jest **prawie** zgodna z przyjętymi standardami odnośnie prezentacji prac doktorskich, ponieważ koncentruje się na trzech zasadniczych elementach problemu badawczego. Są to podstawy teoretyczne, badania główne z weryfikacją oraz podsumowanie z wnioskami i planem dalszego rozwoju rozwiązanego zagadnienia. Zdaniem recenzenta jedynie rozdział drugi pt. **Przegląd Literatury** powinien być przeniesiony do rozdziału pierwszego pt. **Wprowadzenie** i stanowić podrozdział drugi przed podrozdziałami **Cel i Teza**, **Zakres** oraz **Problem Naukowy**. Powodem jest to, że jedynie na podstawie przeglądu literatury można uzasadnić temat i zakres podjętych zagadnień, a tym samym sformułować tytuł rozprawy oraz cel badań i hipotezę badawczą. Ponadto rozdział dzielony na podrozdziały nie może zawierać żadnego fragmentu tekstu nieprzypisanego do podrozdziału, a takie przypadki występują prawie w każdym rozdziale rozprawy. Z tego powodu tytuł rozdziału pierwszego nazwany **Wprowadzenie** powinien brzmieć jako **Wstęp**, natomiast pierwszy podrozdział utworzony z fragmentu tekstu nieprzypisanego do podrozdziału powinien nosić tytuł **1.1 Wprowadzenie**. Wtedy następne rozdziały zgodnie z wymaganiami logicznego powiązania byłyby umiejscowione bezpośrednio po podrozdziale **1.2 Przegląd Literatury** jako **1.3 Cel i Teza**, **1.4 Zakres**, itd.

Powyższe uwagi nie są tak ważne i nie umniejszają wartości rozprawy, tak więc recenzowaną pracę dokorską można ocenić pozytywnie pod względem formalnym.

3. Analiza i ocena rozprawy pod względem metodycznym

Zdaniem recenzenta tytuł rozprawy doktorskiej „Metoda zwiększania czasu trwania i zasięgu lotu bezzałogowego statku powietrznego pionowego startu i lądowania” został dobrany zbyt ogólnie. Rozprawa doktorska dotyczy bowiem badań tylko **słonecznych** napędów zasilania BSP i do tego nie tylko pionowego startu i lądowania, ale także poziomego. Stąd tytuł rozprawy powinien brzmieć mniej więcej tak: „Metoda zwiększania czasu trwania i zasięgu lotu zasilanego energią słoneczną bezzałogowego statku powietrznego poziomego i pionowego startu i lądowania”.

Cel rozprawy doktorskiej został sformułowany następująco:

opracowanie uniwersalnej metody pozwalającej na zwiększenie czasu i zasięgu lotu różnych klas i rodzajów bezzałogowych statków powietrznych pionowego startu i lądowania. Cel rozprawy, podobnie jak tytuł rozprawy, został także zbyt szeroko sformułowany, bo badania dotyczą jedynie BSP zasilanych energią słoneczną. Badanej w rozprawie metody nie da się zastosować do BSP zasilanych z innych źródeł energii, oprócz oczywiście elektrycznych BSP, których baterie/akumulatory zasilane są energią elektryczną na lotnisku. Można było dodać drugi dodatkowy bardzo ważny cel (jak bardzo szeroko i dokładnie rozpracowanymi w rozprawie, wystarczy zapoznać się z głównie przeglądowymi publikacjami zacytowanymi poniżej), a mianowicie opracowanie kompleksowej metody badania napędów BSP zasilanych energią słoneczną w etapie koncipowania i projektowania oraz weryfikacji prototypów BSP.

Tao LEI, Zhou YANG, Zicun LIN, Xiaobin ZHANG: State of art on energy management strategy for hybrid-powered unmanned aerial vehicle. Volume 32, Issue 6, June 2019, Pages 1488-1503

Bohwa Lee, Poomin Park, and Chuntaek Kim: Power Managements of a Hybrid Electric Propulsion System Powered by Solar Cells, Fuel Cells, and Batteries for UAVs. In: Handbook of Unmanned Aerial Vehicles, DOI 10.1007/978-90-481-9707-1 115 © Springer Science+Business Media Dordrecht 2015

A. Noth, W. Engel, R. Siegwart: RECENT PROGRESSES ON THE MARTIAN SOLAR AIRPLANE PROJECT SKY-SAILOR. In Proceedings of the 9th ESA Workshop on Advanced Space Technologies for Robotics and Automation 'ASTRA 2006' ESTEC, Noordwijk, The Netherlands, November 28-30, 2006

Ye XIE, Al SAVVARISAL, Antonios TSOURDOS, Dan ZHANG, Jason GU: Review of hybrid electric powered aircraft, its conceptual design and energy management methodologies. Chinese Journal of Aeronautics 2020, Volume 34, Issue 4, April 2021, Pages 432-450 <https://doi.org/10.1016/j.cja.2020.07.017>.

Teza rozprawy doktorskiej została natomiast sformułowana następująco:
metoda projektowania oparta na modelu pozwala projektować statki powietrzne pionowego startu i lądowania o znacznie zwiększonych osiąгах lotu. W tym etapie recenzji patrząc na 3 strony wniosków można sądzić, że teza została udowodniona.

W rozprawie doktorskiej przedstawiono symulacyjne badania solarnych napędów BSP wykorzystując zasady projektowania opartego na modelu łącznie z systemem Matlab Simulink. Dzięki temu można na przykład skrócić czas programowania do 50%. Istnieją także inne raczej mniej uniwersalne i przyjazne metody symulacji, jak np. w systemie Matlab Simscape (A. V. Pavan Kumar, Alivelu M. Parimi, K. Uma Rao: A Comparative Study of Model Based Design of PV cell in MATLAB/Simulink/Simscape. International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering, Vol. 3, No.1, Pages : 37 - 42 (2014).

Wg tradycyjnego postrzegania dyscyplin naukowych rozprawa doktorska mgr inż. Krzysztofa Matei nie ma nic wspólnego z mechaniką czy z eksploatacją i budową maszyn. Wpisuje się natomiast całkowicie w dziedzinę automatyki, elektrotechniki, elektroniki i kosmonautyki. Można jednak znaleźć podobne kierunki badań jak w recenzowanej rozprawie przypisane do dyscypliny naukowej Inżynieria Mechaniczna w Instytucie Transportu Politechniki Koszalińskiej oraz na Wydziale Inżynierii Produkcji i Energetyki Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie - link:

<https://wipie.urk.edu.pl/index/site/5511>. Tymi kierunkami badań są odpowiednio "badanie i ocena hybrydowych i elektrycznych zespołów napędowych w zastosowaniach transportowych" oraz „wykorzystanie zasobów energii odnawialnej do ogrzewania obiektów produkcyjnych”. Stąd wniosek, że niniejsza rozprawa także może być zakwalifikowana do dyscypliny naukowej Inżynieria Mechaniczna.

Tak więc zdaniem recenzenta można pozytywnie ocenić wybór podjętej tematyki badawczej.

4. Analiza i ocena rozprawy pod względem merytorycznym

Pierwszym rozdziałem rozprawy jest **Wprowadzenie**, w którym Doktorant przedstawił obecny stan techniki dotyczącej BSP w tym BSP z napędem słonecznym, cel, tezę, zakres i problem naukowy oraz wymienił najważniejsze publikacje związane z tematem dysertacji. W ostatnim podrozdziale tego rozdziału pt. **Podziękowania** można przeczytać, że badania opisane w tej dysertacji były częściowo przeprowadzone i sfinansowane przez Norwegian Funds na lata 2014-2021 jako część projektu nr 10/60/ZZB/153 pod tytułem „Long-endurance UAV for collecting air quality data with high spatial and temporal resolutions (LEADER)” oraz jako część grantów Politechniki Śląskiej No. 10/060/BKM20/01 i 10/060/BKM22/2025. Przedstawiona metoda została opracowana przez Doktoranta dla SkyTech eLab LLC i jest jego własnością. Praca także przedstawia techniczne rozwiązania Twin Stratos BSP należące do SkyTech eLab. SkyTech eLab LLC wyraził zgodę na publikację prezentowanych treści. Nie można potwierdzić, że rozdział ten jest napisany całkiem poprawnie. Brakuje bowiem w tym rozdziale przeglądu literatury, jako podrozdziału. Więcej na ten temat napisane jest w rozdziale dotyczącym oceny pod względem formalnym.

W drugim rozdziale pt. **Przegląd Literatury** przedstawiono obszernie omówienie literatury głównie dotyczącej badań. Świadczy to o dobrej znajomości przez Doktoranta tematyki badawczej. Zdaniem recenzenta rozdział ten powinien być dołączony do rozdziału pierwszego (uzasadnienie podane w rozdziale drugim recenzji).

Rozdział trzeci **Metody** poświęcono przedstawieniu metodologii projektowania opartego na modelu. Obiektami projektowania były funkcjonalne zasady modelu symulacji oraz modeli natężenia promieniowania, układy fotowoltaiczny i baterii w wersjach standardowych i uproszczonych. Ponieważ projektowanie odbywa się „wewnątrz” systemu Matlab Simulink, więc nie jest wymagane cytowanie licznych książek dotyczących metodologii projektowania opartego na modelu, w których nie wspomina się o takich dogodnościach jak o możliwości skorzystania z Matlab Simulink.

Rozdział czwarty pt. **Wstępna weryfikacja wyników** poświęcony został przedstawieniu wyników weryfikacji natężenia promieniowania dla Gliwic w różnych porach roku i na różnych wysokościach, charakterystyk P-V oraz I-V ogniwa słonecznego SunPower Maxeon Ne3 oraz charakterystyk wyładowania baterii Samsung18650-35E. Obliczone natężenia promieniowania dla Gliwic wg metody przedstawionej w rozdziale poprzednim porównano z wynikami obliczeń dla czterech innych miejsc na świecie. Wydaje się, że łatwiej można byłoby zweryfikować obliczone natężenia poprzez doświadczalne wyznaczenie tych wartości natężenia promieniowania na poziomie miasta Gliwice (R. Qusay Hassan, Marek Jaszczur, Janusz Teneta, Majid K. Abbas, Ali Hasan and Ali Khudhair Al-Jiboory: Experimental investigation for the estimation of the intensity of solar irradiance on oblique surfaces by means of various models. *Energy Harvesting and Systems* <https://doi.org/10.1515/ehs-2021-0087>). Charakterystyki P-V oraz I-V ogniwa słonecznego zostały wyznaczone dla różnych natężeń promieniowania oraz różnych temperatur. Dzięki temu przy stwierdzeniu spadku sprawności przy niskim promieniowaniu oraz wzroście

temperatury pracy ogniwa można było mieć pewność o poprawności wyznaczonych charakterystyk, a tym samym poprawności modelu P-V oraz I-V. Przy okazji można było sprawdzić także poprawność pracy kontrolera śledzenia maksymalnego punktu mocy podczas ładowania słonecznego (MPPT) wg metody zastosowanej we wstępnej weryfikacji. Oczywiście istnieją także inne metody godne zastosowania, jak np. metoda analityczno-doświadczalna zaproponowana np. w Olivier Gergaud, Bernard Multon, Hamid Ben Ahmed: Analysis and Experimental Validation of Various Photovoltaic System Models. ELECTRIMACS, Aug 2002, MONTREAL, Canada. Drobną uwagą - na wykresach charakterystyk ogniw słonecznych brakuje zaznaczenia osi napięć prądu I (na osi rzędnych np. po prawej stronie wykresów). Podobnie poprawność modelu baterii można sprawdzić analizując charakterystyki ładowania lub rozładowywania tj. zależności napięcia od pojemności ładowanej/rozładowywanej baterii lub zależności napięcia od czasu ładowania/rozładowywania baterii. W pracy do wstępnej weryfikacji wykorzystano charakterystyki rozładowywania baterii. Zdaniem recenzenta największym niedociągnięciem rozprawy, pomimo że redakcyjnym, jest brak zamieszczenia schematów modelu symulacyjnego systemu słonecznego zasilania BSP oraz modeli symulacyjnych elementów składowych, tj. ogniw fotowoltaicznych (Array P-V, I-V), baterii oraz kontrolera MPPT w programie Simulink. Projektowanie oparte na modelach zapewnia przecież wizualne podejście do tworzenia złożonych systemów. Nie wiadomo też w jaki sposób była przeprowadzana symulacja pracy silnika elektrycznego. Przez zastąpienie schematów opisami zasad działania (również podobnie w następnych rozdziałach) rozprawa stała się trochę „przegadana”.

Studium przypadku zostało przedstawione w rozdziale piątym. Obiektem badań były dwa typowe, czyli z nieruchomymi skrzydłami BSP o poziomym starcie i lądowaniu TS17 i TS12, odpowiednio klas LALE (wysokość lotu – poniżej 3 km, czas lotu – powyżej 24 godziny, zasięg – powyżej 500 km, masa – 15 do 25 kg) oraz HALE (wysokość lotu – powyżej 15 km, czas lotu - powyżej 24 godziny, zasięg – powyżej 2000 km, masa – ponad 2500 kg). Zgodnie z Tabelą 5.1 (recenzowana Rozprawa Doktorska) maksymalna wartość wysokości lotu BSP TS17 wynosi 8 km, czyli należy go zaliczyć do grupy MALE (medium-altitude long-endurance) a nie do grupy LALE (low-altitude long-endurance). Trzeci BSP charakteryzował się pionowym startem i lądowaniem na ogonie, czyli należał do rodzaju SkyX VTOL tail-sitter. Z tego powodu tytuł rozprawy powinien brzmieć trochę inaczej. Głównym celem badań TS17 oraz TS12 było porównanie wpływu ich wielkości na ilość produkowanej i zużytej energii. Badania SkyX pionowego startu i lądowania miały natomiast na celu sprawdzenie, czy zasilanie fotowoltaiczne zwiększy czas lotu tego BSP. W tym celu dla każdego z BSP wyznaczano analitycznie zapotrzebowanie energii przez silniki elektryczne w czasie wznoszenia, przelotu i lądowania, obsługę układów elektronicznych oraz na pokrycie strat przy magazynowaniu energii. Następnie wyniki obliczeń zapotrzebowania energii zostały porównywane z wynikami uzyskanymi w czasie symulacji modelu. Zapotrzebowanie energii przedstawiono na wykresach 5.3 do 5.9. W podobny sposób wyznaczono uśrednioną wytworzoną energię przez ogniwa słoneczne. Wyniki przedstawiono w Tabeli 5.5. Znając ilość energii wytworzonej i wymaganej do napędu silników oraz do

obsługi urządzeń pokładowych można było dobrać baterię lub zestaw baterii o odpowiedniej pojemności.

W rozdziale szóstym pt. Dostrajanie modeli symulacyjnych przedstawiono przebieg badań trzech BSP (TS17, TS12 oraz SkyX) na stanowisku badawczym w warunkach bardzo zbliżonych do rzeczywistości. Badania prowadzono wg scenariuszy uwzględniających wszystkie etapy lotu (start, wznios, przelot i lądowanie) i dostosowanych do maksymalnych możliwości każdego z BSP. W scenariuszach zwracano szczególną uwagę na zapis zużycia energii. Badania konieczne do sporządzenia charakterystyk I-V oraz P-V przeprowadzono w akredytowanym laboratorium fotowoltaicznym IMIM PAN, gdzie zamiast energii słonecznej wykorzystano energię światła ksenonowej lampy błyskowej o mocy 1430 W. Badanie specjalnie laminowanych ogniw fotowoltaicznych wykazało nieznaczne pogorszenie sprawności ogniw, ale miało na pewno wpływ na ich trwałość. Pan mgr inż. Krzysztof Mateja skromnie nie wspominał, że zastosowany przez niego sposób badania elementów napędu i całego układu napędowego na stanowisku badawczym z następnym wykorzystaniem systemu Matlab Simulink z powodzeniem zastąpił bardzo drogi profesjonalny system łączący ze sobą środowiska laboratoryjne i symulacyjne o nazwie Power HIL (Hardware in Loop). Zapewnia on m.in. nieniszczące badania prototypów (J. Vejlupke, J. Chalupa, and R. Grepl. T. Březina and R. Jabłoński (eds.): Model Based Design of Power HIL System for Aerospace Applications. Mechatronics 2013, 177 DOI: 10.1007/978-3-319-02294-9_23, © Springer International Publishing Switzerland 2014).

W rozdziale siódmym pt. **Wyniki** przedstawiono wykresy z badań symulacyjnych przeprowadzonych dla scenariuszy lotów opracowanych w rozdziale poprzednim. Wykonane zostało mnóstwo badań symulacyjnych w dwóch porach roku z zasilaniem i bez zasilania baterii energią słoneczną. Wykresy te są trudne do analizy, ponieważ odpowiadające im scenariusze lotów są zamieszczone w rozdziale szóstym. Brak jest wytłumaczenia jak zachowywał się kontroler MPPT w czasie wznoszenia i jaki miał wpływ na zużycie energii np. na wysokościach różniących się o 300 m.

W rozdziale ósmym pt. **Weryfikacja** przedstawiono dobrze zapowiadające się stanowiskowe badania przeprowadzone na rzeczywistym BSP typu MALE. W analizie tych badań także bardzo przydałby się schemat modelu ogniw fotowoltaicznych (Tablic P-V oraz I-V) z wykazem liczby diod i ewentualne zbadanie wpływu ich liczb na efektywność działania układu zasilania napędu. Zniszczenie ogniw fotowoltaicznych jest zastanawiające i powinno być dokładnie zbadane.

W ostatnim dziewiątym rozdziale pt. **Podsumowanie** Pan mgr inż. Krzysztof Mateja przedstawił pełne trzy strony szczegółowych i trafnych wniosków dotyczących usprawnienia elementów układu napędowego BSP zasilanego światłem słonecznym. W perspektywicznych pracach powinny być jeszcze wymienione badania mające na celu doskonalenie układów sterowania do zarządzania energią. Nawet tak proste jak wpływ liczby diod w Array P-V oraz I-V. Oprócz badań symulacyjnych potrzebne są bardziej ambitne prace optymalizacji wielokryterialnej mające na celu np. dobór charakterystyk elementów układu napędowego i parametrów sterowania w zależności od

charakterystyk aerodynamicznych BSP lub odwrotnie. Opracowując taką liczbę wniosków (posegregowanych wg ważności) Doktorant wykazał się umiejętnością opracowania i interpretacji uzyskanych wyników badań.

Celem recenzji było potwierdzenie, że cel rozprawy doktorskiej został osiągnięty oraz teza została udowodniona. Właśnie na podstawie analizy ostatnich pięciu rozdziałów, a szczególnie ostatniego pt. Podsumowanie można stwierdzić, że badania wykonane zostały prawidłowo, a metody badawcze zostały dobrane właściwie, dzięki czemu możliwe było zrealizowanie celu rozprawy oraz udowodnienie tezy.

Tak więc zdaniem recenzenta należy pozytywnie ocenić przygotowanie rozprawy doktorskiej przez Pana mgr inż. Krzysztofa Mateję pod względem merytorycznym.

5. Pytania do Doktoranta wynikające z oceny merytorycznej rozprawy

W związku z nielicznymi niedociągnięciami spowodowanymi brakiem przedstawienia schematów modeli w systemie Simulink, proszę bardzo Doktoranta o uwzględnienie odpowiedzi na poniższe pytania w prezentacji wyników pracy doktorskiej.

- 1) Proszę przedstawić model symulacyjny systemu słonecznego zasilania BSP oraz modele symulacyjne elementów składowych, tj. ogniw fotowoltaicznych (Array P-V, I-V), baterii oraz kontrolera śledzenia maksymalnego punktu mocy (MPPT) ładowania słonecznego w programie Matlab Simulink oraz silnika
- 2) Proszę dokładnie omówić zużycie energii w czasie trwania lotu w przypadkach bez zastosowania ogniw fotowoltaicznych i z zastosowaniem wraz z kontrolerem MPPT (z nałożonymi na wykres odpowiadającymi scenariuszami lotu).

Uwaga: Jeśli odpowiedź na którekolwiek z pytań zawiera kwestie objęte tajemnicą patentową lub inną, proszę pominąć to pytanie lub udzielić ogólniejszej odpowiedzi.

6. Ocena końcowa

- 1) Temat rozprawy dotyczy istotnego i bardzo trudnego (dla inżyniera mechanika) oraz nadal aktualnego zagadnienia naukowego dotyczącego zwiększania sprawności i efektywności (rozdziały 4 do 8) hybrydowych napędów BSP złożonych z ogniw fotowoltaicznych, baterii i silnika elektrycznego/silników elektrycznych
- 2) Oryginalność rozwiązania problemu naukowego znajduje swój wyraz przede wszystkim:
 - a) w kompleksowym przeprowadzeniu badań fotowoltaicznych układów napędowych BSP (recenzentowi nie jest znane szersze opracowanie, np. monograficzne, na ten temat),
 - b) w przeprowadzeniu łączonych badań w czasie rzeczywistym na stanowisku badawczym oraz symulacji komputerowej, co z powodzeniem zastąpiło badania przy wykorzystaniu drogiego systemu Power HIL.

- 3) Mgr inż. Krzysztof Mateja wykazał się ogólną wiedzą teoretyczną i związanymi z nią kompetencjami oraz umiejętnością prowadzenia badań doświadczalnych w zakresie tematyki rozprawy doktorskiej, co można było stwierdzić po zapoznaniu się z rozprawą doktorską, przeglądem literatury oraz dorobkiem publikacyjnym
- 4) Mgr inż. Krzysztof Mateja posiada umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej, co można było stwierdzić po zapoznaniu się z metodami, narzędziami i technikami badawczymi stosowanymi w rozprawie oraz z trafnymi podsumowaniami każdego z rozdziałów
- 5) Rozprawa doktorska posiada walory poznawcze i użytkowe i wnosi istotny wkład w rozwój projektowania układów napędowych BSP zasilanych energią słoneczną.

7. Wniosek końcowy

Recenzja rozprawy naukowej jest z natury polemiczna. Mam nadzieję jednak, że przynajmniej niektóre przedłożone uwagi mogą posłużyć Autorowi do udoskonalenia warsztatu naukowego oraz przyczynią się do podniesienia poziomu planowanych publikacji. W ocenach częściowych i ocenie końcowej wykazane zostało, że Doktorant posiadał wiedzę, kompetencje i umiejętność prowadzenia badań doświadczalnych i teoretycznych w dyscyplinie naukowej Inżynieria Mechaniczna. Opanował także umiejętność analizy wyników badań i na tej podstawie formułowania logicznych wniosków i ich uogólnień.

Biorąc dodatkowo pod uwagę zakres i poziom recenzowanej dysertacji doktorskiej Pana mgr inż. Krzysztofa Matei wykonanej pod opieką Pana Prof. PŚI dr hab. inż. Wojciecha Skarki oraz jej bezpośredni związek z praktyką inżynierską stwierdzam, że spełnia ona wymagania stawiane pracom doktorskim przez obowiązujące w tym zakresie przepisy ustawowe, zawarte w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 roku - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018 poz. 1668).

Wnioskuje zatem o dopuszczenie Pana mgr inż. Krzysztofa Mateję do publicznej obrony Jego rozprawy doktorskiej pt. "The Method of Increasing the Flight Endurance of Vertical Take-Off and Landing Unmanned Aerial Vehicle" w celu uzyskania stopnia naukowego doktora w dyscyplinie naukowej Inżynieria Mechaniczna.

Prof. Józef Drewniak

/podpis odręczny/

*wyłączenie jawności w zakresie danych osobowych oraz ochrony prywatności osoby fizycznej na podstawie art. 5 ust. 2 ustawy z dnia 6 września 2001 r. o dostępie do informacji publicznej (tj. Dz.U. z 2016 r., poz. 1764)