

**Prof. dr hab. inż. Krzysztof Sibilski**  
Politechnika Warszawska  
Wydział Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa  
50-370 Warszawa  
ul. Nowowiejska 27

Warszawa, 2018-02-28

## **RECENZJA**

**rozprawy doktorskiej opracowanej przez Pana mgr inż. Macieja Słowika**  
**nt.:**

### **AUTONOMIA LOTU BEZPILOTOWYCH STATKÓW LATAJĄCYCH W FAZIE STARTU I LĄDOWANIA**

*wykonana na zlecenie Dziekana Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Robotyki  
Akademii Górniczo-Hutniczej im Stanisława Staszica w Krakowie*

## **OCENA STRONY METODYCZNEJ**

### **1. UKŁAD ROZPRAWY**

Rozprawa doktorska obejmuje 155 stron maszynopisu, zawiera 97 rysunków i 16 tabel. Bibliografię stanowi 99 pozycji o znaczeniu poznawczym i technicznym, obejmujących materiał badawczy rozprawy.

Przedmiotem pracy doktorskiej mgr inż. Macieja Słowika było przeprowadzenie analizy, syntezy, symulacji oraz eksperymentalnej realizacji autonomicznego startu i lądowania bezzałogowego samolotu klasy mikro, z użyciem globalnych sygnałów nawigacyjnych. Zastosowane podczas badań metody miały na celu zwiększenie precyzji i bezpieczeństwa automatycznego startu i lądowania.

Tematyka rozprawy dotyczy jednego z najważniejszych i najbardziej aktualnych problemów autonomicznego lotu bezzałogowych statków powietrznych. Podjęte przez mgr inż. Macieja Słowika badania są aktualne i ważne nie tylko z naukowego ale także użytkowego punktu widzenia. Kandydat opracował architekturę układu sterowania, który umożliwił autonomiczny start oraz lądowanie mikrosamolotu przy wykorzystywaniu sygnałów pochodzących ze zintegrowanych inercjalnych systemów pomiarowych oraz odbiornika GNSS z korekcją błędów. W świetle analizy światowej literatury zagadnienia uważam, że opracowanie mgr inż. Macieja Słowika jest oryginalne i wnosi wartościowe elementy w nurt badań nad autonomicznym sterowaniem krytycznymi fazami lotu bezzałogowych statków powietrznych, jakimi są start i lądowanie.

Przyjmując, że rozdziały 3, 4, 5, 6, 7, 8 i 9 (111 stron) stanowią zasadniczą część rozprawy, stwierdzam, że proporcje pomiędzy jej częściami merytorycznymi są prawidłowe. Treść pracy nawiązuje w sposób właściwy do jej tytułu, a nazwy rozdziałów przedstawiają spójną całość, dając syntetyczny pogląd na rozważaną treść.

### **2. METODA OPRACOWANIA**

Ze względów metodycznych całość rozprawy można podzielić na:

**Część metodologiczną**, obejmującą rozdziały 1 i 2 (20 stron), w której Autor przedstawił genezę podjętych badań, rys historyczny rozwoju bezzałogowych statków powietrznych oraz ich klasyfikację. Swoją uwagę skoncentrował na opisie aktualnych metodach startu i lądowania BSL-i. Porównał także aktualne metody wspomaganie lądowania stosowane w portach lotniczych, zwracając szczególną uwagę na najnowszą technologię GBAS. Na podstawie ana-

lizej literatury oraz obecnego stanu wiedzy mgr inż. Maciej Słowik sformułował zakres, cele i tezę swojej rozprawy. Celem pracy była analiza, synteza oraz realizacja eksperymentalna autonomicznego startu oraz lądowania przy wykorzystywaniu pokładowego sterownika lotu wypracowującego sygnały sterujące zapewniające optymalne parametry lotu w danej jego fazie na podstawie danych pochodzących ze zintegrowanych inercjalnych układów pomiarowych oraz odbiornika GNSS z korekcją błędów. Poprzez integrację, filtrację oraz estymację parametrów z wyżej wymienionych źródeł sygnałów pomiarowych Kandydat uzyskał poprawne wartości sygnału sterującego, co w konsekwencji pozwoliło mu na realizację autonomicznego startu i lądowania mikrosamolotu. Dodatkowym celem badań było przeprowadzenie lądowania w siatkę, jako rozwiązanie bardziej precyzyjnego i bezpiecznego od aktualnie powszechnie realizowanych lądowań. Najistotniejszym problemem naukowym było opracowanie algorytmów sterowania lotem zapewniających optymalne parametry startu, precyzję punktu lądowania oraz integrację systemu autopilota z sygnałami pokładowych inercjalnych układów pomiarowych oraz odbiornika GNSS z korekcją błędów. Doktorant postawił następującą tezę rozprawy: „Możliwa jest realizacja autonomicznego startu i lądowania bezpilotaowego statku latającego oraz zwiększenie precyzji lądowania w wyniku wykorzystania metody lądowania w siatkę oraz dodatkowego układu przetwarzającego poprawki nawigacyjne pochodzące z globalnych systemów nawigacji satelitarnej”. Zakres podjętych przez mgr inż. Macieja Słowika prac obejmował:

- przegląd literatury dotyczącej lądowania samolotów klasycznych, jak i bezzałogowych,
- identyfikację parametrów i modelowanie matematyczne wybranego mikrosamolotu,
- obliczenie współczynników aerodynamicznych wybranego BSP metodami numerycznymi,
- analizę możliwości pokładowego sterownika lotu, dobór pozostałych elementów wyposażenia pokładowego,
- badania symulacyjne układu sterowania oraz algorytmów startu i lądowania,
- dobór odpowiedniej siatki, w którą lądować będzie mikrosamolotu,
- przeprowadzenie badań w locie autonomicznego startu,
- przeprowadzenie badań poligonowych autonomicznego lądowania,
- przeprowadzenie badań poligonowych autonomicznego lądowania w siatkę,
- przeprowadzenie badań poligonowych autonomicznego lądowania w siatkę z wykorzystaniem precyzyjnych odbiorników GNSS,
- przeprowadzenie badań nad możliwością wykorzystania precyzyjnego odbiornika nawigacyjnego oraz stacji referencyjnej w celu odbierania poprawek nawigacyjnych przez pokładowy sterownik lotu mikrosamolotu.

Można zatem stwierdzić, że Doktorant podjął się opracowania schematu działań umożliwiającego opracowanie nie tylko układu sterowania autonomicznym startem i lądowaniem, ale również lokalnego układu sterowania bezzałogowym obiektem latającym wykorzystującym informację z wielu czujników („*sensor fusion control*”).

Część teoretyczną – obliczeniową oraz doświadczalną obejmującą rozdziały 3, 4, 5, 6, 7, 8 oraz 9 (111 stron), w której Doktorant opisał obiekt badań - mikrosamolot w układzie górnopłata. I tak:

W rozdziale trzecim przedstawił eksperymentalne badania zespołu napędowego oraz uzyskane charakterystyki statyczne i dynamiczne. Opisał przeprowadzone badania numeryczne zrealizowane w pakietach ANSYS Fluent oraz TORNADO, a wyniki analiz numerycznych przedstawił z funkcją analityczną uwzględniającą charakterystyki przeciągnięcia.

W rozdziale czwartym opisał wyposażenie płatowca użyte do realizacji badań oraz przedstawił parametry oraz możliwości pokładowego sterownika lotu. Przedstawił metody symulacji: SITL (Software in the Loop) oraz HITL (Hardware in the Loop) oraz opisał metodę wybraną

w dalszych badaniach symulacyjnych i próbach w locie (na poligonie). Przedstawił także możliwości aplikacji sterującej pracą stacji naziemnej kontroli lotu, która umożliwiała podgląd oraz sterowanie lotem BSP. Następnie zestawiał wyposażenie pokładowe zintegrowane na pokładzie BSP.

W rozdziale piątym przedstawił sposób modelowania ruchu płatowca. Opisał przyjęte układy współrzędnych oraz opisał związki opisujące kinematykę i dynamikę ruchu mikrosamolotu. Wyszczególnił siły i momenty sił wpływające na ruch podłużny i poprzeczny, opisał siły i momenty sił generowane przez napęd BSP, oraz przedstawił komplet równań ruchu opisujących przestrzenny ruch płatowca.

W rozdziale szóstym Kandydat opisał etapy projektowania układu sterowania w oparciu o równania przedstawione w rozdziale piątym. W celu realizacji sterowania kanałem podłużnym i poprzecznym Doktorant wykorzystał metodę regulacji kaskadowej z nasyceniem, której podstawą jest wykorzystanie regulatorów typu PID z ograniczeniami na fizyczne możliwości wychylenia powierzchni sterowych. Za pomocą powyższej metody regulacji zaimplementował sterowanie w ruch poprzecznym i podłużnym. W końcowej części rozdziału zestawiał użyte parametry regulacji.

W rozdziale siódmym przedstawione zostały etapy badania symulacyjnego opracowanego przez Doktoranta układu sterowania mikrosamolotem. Badania te zostały podzielone na dwa etapy: pierwszy - badań symulacyjnych w środowisku Matlab/Simulink, oraz drugi - badań symulacyjnych SITL/HITL z wykorzystaniem aplikacji naziemnej stacji kontroli lotu.

W ramach realizacji badań symulacyjnych przedstawiono opis implementacji autopilota, modelu użytego wiatru (model Drydena), badań symulacyjnych startu oraz lądowania.

W ramach realizacji punktu b) przedstawiono symulacyjną realizację startu i lądowania. Przeprowadzenie obu faz badań symulacyjnych pozwoliło na przejście do realizacji badań eksperymentalnych.

W rozdziale ósmym Doktorant opisał badania eksperymentalne autonomicznego startu i lądowania z wykorzystaniem funkcji autopilota. Podał parametry konfiguracyjne autopilota użyte podczas realizacji obu faz lotu, oraz przedstawił wyniki badań. Niestety rezultaty prób w locie wykazały niewystarczającą dokładność pozycji autonomicznego lądowania.

Rozdział dziewiąty został poświęcony badaniom metody zwiększenia dokładności lądowania mikrosamolotu. Najpierw została użyta siatka w celu ograniczenia efektu swobodnego szybowania BSP po osiągnięciu punktu przelotowego określonego jako pozycja lądowania. Zwiększyło to dokładność, jednak w niewystarczającym stopniu. W celu realizacji dalszego zwiększania precyzji lądowania użyto precyzyjnych odbiorników nawigacji satelitarnej. Zostały one połączone ze sobą w system różnicowej nawigacji satelitarnej (DGPS). W dalszej części rozdziału zostały opisane użyte urządzenia oraz ich konfiguracje sprzętowe zastosowane w celu zwiększenia dokładności pozycjonowania mikrosamolotu. Następnie Doktorant opisał wyniki badań eksperymentalnych dokumentujące uzyskanie zwiększenia dokładności lądowania przy wykorzystaniu precyzyjnych odbiorników nawigacji satelitarnej.

Całość pracy kończy **podsumowanie**, w którym Autor odniósł się do własnych dokonań naukowych formułując wnioski.

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 laboratoryjnych 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 obiektów latających o złożonych kształtach aerodynamicznych i strukturze konstrukcyjnej.

### 3. METODA WYKŁADU

Praca jest ilustrowana 97 rysunkami, wykonanymi czytelnie i jednoznacznie oraz logicznie wplecionymi w treść wykładu. 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:

#### A. Niedociągnięcia

- Autor już w tytule rozprawy używa niezbyt fortunnie określenia „bezpilotowy” statek powietrzny. Określenie „bezpilotowy” jest niezbyt fortunate, gdyż na pokładzie takiego obiektu znajduje się dość skomplikowany układ elektroniczny spełniający rolę pilota, a w przypadku zdalnego sterowania obiektem kieruje naziemny operator. Poprawną nazwą tego typu obiektów jest określenie „bezzałogowy”. Tytuł pracy doktorskiej powinien mieć brzmienie „Autonomia lotu bezzałogowych statków latających w fazie startu i lądowania”.
- Kandydat wspomniał we wstępie o niekonwencjonalnych metodach startu BSP z ruchomych platform startowych. Niestety nie wspomniał, że badania takie były prowadzone w ramach projektu GABRIEL finansowanego w ramach 7PR UE. Demonstrator technologii dokumentujący start i lądowanie mikrosamolotu z ruchomej platformy startowej zawieszanej na lewitacyjnych podporach oraz napędzanej silnikiem liniowym został opracowany w Polsce. Dokładny opis oraz wyniki badań zostały opisane m. innymi w monografii habilitacyjnej prof. Falkowskiego pt. „Pasywne zawieszania magnetyczne, Wyd. WAT, Warszawa 2016, ISBN 978-83-7938-115-9. Podsumowanie wyników projektu GABRIEL zostało opublikowane w pracy: D. Rohasc, J. Rohacs; “Magnetic levitation assisted aircraft take-off and landing (feasibility study – GABRIEL concept)”, Progress in Aerospace Sciences, Vol. 85, August 2016, Pages 33-50
- Uważam, że rozdziały 3 i 5 są zbyt rozbudowane. Np. zawarte w podrozdziale 3.2 oraz 3.3 opisy metodyki obliczeń charakterystyk aerodynamicznych samolotu metodami CFD mogłyby z powodzeniem znaleźć się w Załączniku 1. Podobnie zawarte w rozdziale 5 opisy układów współrzędnych, macierze transformacji, wyprowadzenia równań ruchu samolotu, które można znaleźć można w wielu podręcznikach mechaniki lotu powinien, moim zdaniem stanowić treść Załącznika 2.
- Doktorant w obliczeniach CFD wykorzystał modele turbulencji RANS (*Spalart – Allmaras*;  $k-\omega$ ; oraz  $k-\varepsilon$ ), jednakowoż w przypadku małych liczb Reynoldsa (a mikrosamolot operuje na prędkościach odpowiadających liczbie Re rzędu 250 000), modele RANS dają duże błędy w obliczeniach. Stąd tak duża rozbieżność wyników obliczonych wartości siły nośnej  $P_z$  przedstawionych na rysunku 3.11. W obliczeniach we Fluencie należało zastosować metodę Large Eddy Simulation (LES), która daje znacznie lepsze wyniki w przypadku optywów z małymi liczbami Re.
- Pakiet TORNADO wykorzystuje bardzo prosty model siatki wirowej. Znacznie lepsze wyniki dałby model nieliniowy, w którym wykorzystuje się technikę „*time stepping*” stosowaną np. w pakiecie USAERO (firmy Analytical Methods Inc.). Niestety jest to program komercyjny i drogi. Znacznie lepszym od pakietu TORNADO jest program PANUKL dostępny na stronie zakładu Samolotów i Śmigłowców Instytutu Techniki Lotniczej i Mechaniki Stosowanej Wydziału Mechanicznego Energetyki i Lotnictwa PW. Program PANUKL jest ciągle rozwijany, a jego zaletą jest moduł obliczający pochodne aerodynamiczne.

- W pracy podane są charakterystyki aerodynamiczne samolotu będącego przedmiotem badań „Hardware in the Loop” oraz testów w locie. Autor przytoczył wartości liczbowe pochodnych aerodynamicznych obliczone programem TORNADO. Uważam, że obliczenia te powinny zostać zweryfikowane innymi metodami, np. przy pomocy dostępnego w Internecie pakietu DATCOM, (pakiet ten jest zaimplementowany w MATLAB Aerospace Blockset). Napisany w języku FORTRAN kod źródłowy programu USAAF DATCOM został opracowany na początku lat siedemdziesiątych ubiegłego wieku w Amerykańskim Instytucie Sił Powietrznych (Air Force Research Laboratory - AFRL). Celowe byłoby także zweryfikowanie obliczeń numerycznych badaniami w tunelu aerodynamicznym.
- Praca zawiera kilka drobnych błędów redakcyjnych, szczegółowe informacje na ich temat przekazałem Doktorantowi.

### **B. Zalety**

- bardzo obszerny zakres problemowy pracy dający pogląd na ważność podjętej tematyki;
- opracowanie metodyki projektowania oraz opracowanie układu sterowania lotem autonomicznym w fazie startu i lądowania;
- opracowanie modeli symulacyjnych oraz przeprowadzenie badań symulacyjnych autonomicznego startu i lądowania mikrosamolotu oraz laboratoryjna weryfikacja tych modeli (symulacja typu „Software in the Loop” oraz „Hardware in the Loop”);
- opracowanie systemu sterowania autonomicznym lądowaniem mikrosamolotu z wykorzystaniem precyzyjnych odbiorników GNSS oraz naziemnej stacji referencyjnej;
- przeprowadzenie badań w locie autonomicznego startu;
- przeprowadzenie badań poligonowych autonomicznego lądowania;
- przeprowadzenie badań poligonowych autonomicznego lądowania w siatkę;
- przeprowadzenie badań poligonowych autonomicznego lądowania w siatkę z wykorzystaniem precyzyjnych odbiorników GNSS;
- przeprowadzenie badań nad możliwością wykorzystania precyzyjnego odbiornika nawigacyjnego oraz stacji referencyjnej w celu odbierania poprawek nawigacyjnych przez pokładowy sterownik lotu mikrosamolotu.

Należy przy tym podkreślić, że przeprowadzone przez mgr. Inż. Macieja Słowika analizy i obliczenia i badania poligonowe stanowią zarazem genezę pracy, a także uwypuklają nowe elementy opracowanych przez Niego algorytmów i architektury układu nawigacji i sterowania autonomicznym startem i lądowaniem mikrosamolotu. Wyniki tych prac udowodniły postawioną w pracy tezę, że: *„(...) możliwa jest realizacja autonomicznego startu i lądowania bezpilotowego statku latającego oraz zwiększenie precyzji lądowania w wyniku wykorzystania metody lądowania w siatkę oraz dodatkowego układu przetwarzającego poprawki nawigacyjne pochodzące z globalnych systemów nawigacji satelitarnej”*

### **OCENA STRONY MERYTORYCZNEJ**

Doktorant w swojej pracy podjął próbę zbudowania algorytmów nawigacji i sterowania autonomicznym lądowaniem mikrosamolotu. W wyniku przeprowadzonych badań symulacyjnych, prac projektowych, badań laboratoryjnych oraz poligonowych opracował układ sterowania autonomicznym startem i lądowaniem BSP wykorzystujący precyzyjny odbiornik nawigacji satelitarnej oraz stacji referencyjnej. Takie rozwiązanie umożliwiło odbiór poprawek nawigacyjnych przez pokładowy sterownik lotu mikrosamolotu.

W toku prac doktorant:

- wyznaczył nieliniowy model matematyczny i symulacyjny bezzałogowego statku powietrznego;
- wyznaczył model symulacyjny autopilota i przeprowadził syntezę układu sterowania lokalnego mikrosamolotem. Symulator ten został wykorzystany do badań opracowanego algorytmu sterowania autonomicznym startem i lądowaniem;
- zaprojektował i wykonał stanowisko laboratoryjne do badań *Software in the Loop* oraz *Hardware in the Loop* układu autonomicznego startu i lądowania;
- przygotował platformy testowe do badań eksperymentalnych i przeprowadził proces integracji i konfiguracji autopilota;
- opracował metodykę prowadzenia badań w locie oraz wykonał szereg lotów testowych;
- podczas tych prób w laboratorium i na poligonie Doktorant dobrał ponad 100 parametrów konfiguracyjnych pokładowych układów sterowania i kontroli lotu.

Po zapoznaniu się z treścią pracy chciałbym podjąć polemikę z Autorem nad zaprezentowanymi przez niego wybranymi rozważaniami i opiniami. I tak:

- Doktorant na stronie 41 rozprawy napisał „W celu obliczenia współczynników aerodynamicznych modelu mikrosamolotu Mentor metodą panelową wykorzystano pakiet Tornado wymagający do działania środowiska obliczeniowego Matlab. (...)” Chciałbym, by Kandydat bliżej opisał w jaki sposób obliczył pochodne aerodynamiczne mikrosamolotu, wykorzystując pakiet TORNADO. Chodzi tu przede wszystkim o sposób wyznaczenia pochodnych momentów aerodynamicznych względem prędkości kątowych pochylania, przechylania i odchylenia zestawionych w tabeli 3.3:  $(\frac{\partial C_m}{\partial q}, \frac{\partial C_l}{\partial p}, \frac{\partial C_l}{\partial r}, \frac{\partial C_n}{\partial p}, \frac{\partial C_n}{\partial r})$ . Chciałbym podkreślić, że obliczenie tych pochodnych metodami CFD jest problemem samym w sobie i zagadnieniu temu poświęcone są np. prace jednej z grup roboczych panelu AVT organizacji naukowej NATO (NATO S&T). Podobnie, pochodnych aerodynamicznych nie da się bezpośrednio zmierzyć w tunelach aerodynamicznych. Chciałbym, by doktorant bliżej odniósł się do tego problemu;
- uważam, że pracę wzbogaciłyby symulacje wpływu turbulencji atmosferycznej na autonomię startu i lądowania mikrosamolotu. Chciałbym, by Doktorant bliżej przedstawił problemy wpływu turbulencji atmosferycznej i wiatru bocznego na precyzję osiągnięcia punktu lądowania oraz bezpieczeństwo autonomicznego startu;
- w modelu zostały pominięte momenty giroskopowe śmigła. Chciałbym, by doktorant ocenił wpływ momentów giroskopowych na dynamikę lotu samolotu.

## 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.

Za najistotniejsze osiągnięcia Doktoranta uważam:

- ***opracowanie metodyki projektowania oraz opracowanie układu sterowania autonomicznym startem i lądowaniem mikrosamolotu;***
- ***opracowanie modeli matematycznych i przeprowadzenie szeregu badań sumujących układu sterowania autonomicznym startem i lądowaniem BSP oraz laboratoryjna weryfikacja tych modeli (symulacje typu „Software in the Loop” oraz „Hardware in the Loop”);***

- **opracowanie systemu sterowania autonomicznym lądowaniem bezzałogowego statku powietrznego wykorzystującego techniki GPS i RTK, dzięki którym uzyskano wysoką dokładność lądowania w siatkę, a co za tym idzie duże prawdopodobieństwo trafienia samolotu w zadany punkt nawet przy niekorzystnych warunkach atmosferycznych;**

Na podstawie cytowanych prac własnych, należy zauważyć i podkreślić konsekwentny rozwój naukowy Doktoranta. Bez wątplenia praca doktorska została wykonana samodzielnie i wnosi znaczący wkład w rozwój badań nad sterowaniem lotem bezzałogowych statków powietrznych. Wiedza zdobyta na podstawie analiz dokonanych za pomocą opracowanego przez Doktoranta modelu matematycznego i pakietu programów komputerowych pozwala na dogłębną analizę autonomicznego startu i lądowania mikrosamolotu.

Reasumując stwierdzam, że przedstawiona mi do recenzji dysertacja, spełnia formalne wymagania Ustawy o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. Nr 65 poz. 595 z późniejszymi zmianami) i Rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego (Dz. U. z roku 2016 poz.1586). Podstawą powyższego stwierdzenia jest wykazana w rozprawie nowość w zakresie matematycznego modelowania, syntezy i eksperymentalnej weryfikacji układów autonomicznego sterowania startem i lądowaniem bezzałogowych statków powietrznych. Uważam, że rozprawa zawiera oryginalne rozwiązanie problem naukowego. Kandydat posiada ogólną wiedzę teoretyczną w dyscyplinie Automatyka i Robotyka oraz wykazał się także umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Z uwagi na fakt, że praca doktorska Kandydata jest związana z dwiema dziedzinami nauki - inżynierią lotniczą i kosmiczną oraz automatyką i robotyką, a tylko ta druga jest dyscypliną naukową w Polsce, wskazuję jako dyscyplinę automatykę i robotykę.

W związku z powyższym: **stawiam wniosek o przyjęcie rozprawy doktorskiej i dopuszczenie Pana mgr inż. Macieja SŁOWIKA do jej publicznej obrony.**

Ponadto, biorąc pod uwagę wysoki poziom naukowy rozprawy oraz ogromny nakład pracy wykonany przez Autora rozprawy, co wykazałem powyżej w recenzji rekomenduję wyróżnienie rozprawy doktorskiej.

