

prof. dr hab. inż. Tomasz Rogalski  
Politechnika Rzeszowska  
Al. Powstańców Warszawy 12  
35-959 Rzeszów

Rzeszów, dn. 10.12.2024

## **Recenzja rozprawy doktorskiej**

mgr. inż. Katarzyny POBIKROWSKIEJ pod tytułem „Optimization of the Transition Phase of the Aircraft in Hybrid Configuration”

### **1. TEMATYKA ROZPRAWY**

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Katarzyny Pobikrowskiej pod tytułem „Optimization of the Transition Phase of the Aircraft in Hybrid Configuration” została przygotowana na podstawie decyzji nr 774/II-IM/2024 Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Warszawskiej z dnia 9 października 2024 roku.

Przedstawiona mi do recenzji rozprawa została przygotowana w-języku angielskim. Stanowi kompletne opracowanie naukowe, które zawiera w-kolejności: spis treści, siedem rozdziałów opisujących przygotowanie i przeprowadzenie badań oraz analizę otrzymanych wyników, bibliografię (łącznie 157 przytaczanych źródeł), wykaz skrótów i oznaczeń, spis rysunków (80 pozycji), spis tabel (5 pozycji) oraz załącznik. Ponadto została poprzedzona streszczeniami w-językach angielskim i polskim. Cała praca została zawarta łącznie na 250 stronach.

W pracy Doktorantka poruszyła zagadnienia związane z-coraz bardziej wkraczającą w-różne dziedziny życia tematyką eksploatacji bezzałogowych statków powietrznych (UAV - Unmanned Aerial Vehicle). Jedną z-krytycznych faz każdej operacji statku powietrznego jest jego start – szczególnie w-przypadku konstrukcji hybrydowych, jak analizowany w-pracy statek powietrzny w-konfiguracji quad-plane. Łączy on cechy wielowirnikowca w-trakcie pionowego startu i lądowania (VTOL - Vertical Take-Off and Landing) i stałopłata w-trakcie przelotu. Analizowana w-rozprawie doktorskiej faza przejścia od zawisu tj. lotu, gdy statek powietrzny jest wielowirnikowcem utrzymującym się w-powietrzu dzięki sile generowanej przez poziomo zamontowane śmigła, do lotu postępowego wykorzystującego siłę nośną generowaną przez skrzydła, jak w-przypadku klasycznego samolotu, jest interesującym zagadnieniem badawczym. w-badanej fazie lotu statek powietrzny przyspiesza w-płaszczyźnie poziomej zmniejszając udział siły generowanej przez poziome śmigła, a zwiększając udział siły generowanej przez skrzydła w-całkowitej sile nośnej niezbędnej do utrzymania go w-powietrzu. Recenzowana praca skupia się na

sterowaniu lotem statku powietrznego, tak aby zminimalizować ilość zużywanej, w-trakcie wspomnianego rozpędzania, energii z-zachowaniem wyznaczonych zakresów zmian wybranych parametrów lotu, uznanych za krytyczne.

W mojej opinii poruszana w-pracy tematyka jest ciekawa, dodatkowo związana z-obszernym w-ostatnim czasie trendem zwiększenia praktycznego wykorzystania UAV w-operacjach nad terenami zurbanizowanymi, w-których możliwość wykonania pionowego startu i lądowania, ze względu na infrastrukturę naziemną jest często warunkiem koniecznym do ich wykorzystania.

Podjęte w-Europie działania, na przykład opracowana przez z-Komisję Europejską strategia rozwoju rynku systemów RPAS (Remotely Piloted Aircraft System), koncepcja przestrzeni powietrznej typu U-SPACE wprowadzana przez Europejską Agencję Bezpieczeństwa lotniczego dały impuls do rozpoczęcia bardziej zintensyfikowanych badań w-szeroko pojętej dziedzinie bezzałogowych statków latających. Programy europejskie np. SESAR JU wspierają ośrodki badawcze i przemysłowe w-rozwoju tej technologii, a prowadzone kampanie społeczne np. „Sprawdź, czy możesz TU latać dronem” zorganizowana przez Polską Agencję Żeglugi Powietrznej sprzyjają zwiększeniu świadomości operatorów, użytkowników i budują, wciąż ograniczone, zaufanie społeczne

## 2. CHARAKTERYSTYKA ROZPRAWY

Przedstawiona mi do oceny rozprawa doktorska swoją tematyką wpisuje się w-polskie, europejskie i światowe nurty badawcze w-obszarze RPAS. Podjęte w-pracy badania nie dają odpowiedzi na wszystkie pytania związane ze sterowaniem, będącym jej przedmiotem, statkiem powietrznym przechodzącym z-fazy zawisu do lotu, jednak zaproponowane przez Doktorantkę rozwiązania mogą być korzystną i ciekawą propozycją dla innych naukowców, projektantów, konstruktorów lub użytkowników systemów RPAS.

Mimo, iż formalnie część badawcza rozprawy składa się z-siedmiu rozdziałów można w-jej strukturze wyodrębnić dwie zasadnicze części merytoryczne. Pierwsza z-nich jest przygotowaniem teoretycznym do badań, obejmuje rozdziały od pierwszego do trzeciego. Część druga to opis badań i otrzymanych wyników, zawiera rozdziały od piątego do siódmego. Obie części są połączone rozdziałem czwartym, który jest łącznikiem między wspomnianymi wyżej częściami rozprawy.

W rozdziale pierwszym, jednoznacznie zdefiniowany został obszar badawczy pracy:

**„... to study the motion of a VTOL quad-plane aircraft and to derive an Energy optimal control system for the transition phase of the aircraft , i.e. the transient phase between hover and high-speed forward flight. ...”**

W nim również Autorka skrótowo prezentuje obiekt badań, czyli statek powietrzny w-konfiguracji quad-plane oraz uzasadnia jego wybór. Doktorantka zwraca uwagę na liczne, niezbadane jeszcze relacje, między wartościami ciągu generowanymi przez

poszczególne zespoły napędowe, a elementami konstrukcji samolotu w-zależności od wybranych parametrów lotu (np.: prędkość, kąt natarcia). Zastanawia się nad wzajemną interakcją pomiędzy wirnikami poziomymi, a śmigłem pchającym oraz jej wpływ na wartości sił ciągu poszczególnych zespołów napędowych. Te zagadnienia staną się przedmiotem części badań opisanych w-dalszych rozdziałach recenzowanej pracy.

Ponadto wyjaśnia, że dodatkowym powodem, dla którego do badań wybrała statek powietrzny w-konfiguracji quad-plane jest stosunkowo niewielkie dotychczasowe zainteresowanie taką konfiguracją naukowców w-porównaniu do zainteresowania jakie wykazują producenci systemów RPAS.

W tym rozdziale, czytelnik zostaje zaznajomiony z-zasadami wykonywania operacji pionowego startu i lądowania, konfiguracjami statków powietrznych mogących takie operacje wykonywać, problemami występującymi w-procesie modelowania sił aerodynamicznych w-przypadku wybranej konfiguracji statku powietrznego, zasadami sterowania optymalnego z-uwzględnieniem sterowania trajektorią lotu. Jako ciekawy fragment tego rozdziału oceniam umieszczenie krótkich opisów wybranego oprogramowania dedykowanego do rozwiązywania zagadnienia sterowania optymalnego.

Prezentując wszystkie wymienione wyżej zagadnienia Doktorantka licznie odwołuje się do materiałów źródłowych pokazując dotychczasowy zakres badań oraz osiągnięte wyniki w-tych obszarach w-innych ośrodkach naukowych na całym świecie.

Następne dwa rozdziały zawierają wybraną skondensowaną wiedzę teoretyczną z-zakresu podstaw teorii sterowania, z-uwzględnieniem sterowania optymalnego, budowy modelu matematycznego dynamiki samolotu i sposobów jego linearyzacji. w-przeważającej części są to rozdziały odtwórcze bazujące na dostępnej wiedzy literaturowej. Przedstawiono w-nich narzędzia, które zostały następnie wykorzystane w-części badawczej rozprawy. Takie dydaktyczne podejście Autorki ma pozytywny aspekt praktyczny. w-jednym miejscu została zgromadzona cała wykorzystana wiedza teoretyczna. Jest to bardzo wygodne dla czytelnika i ułatwia analizę rozprawy. Niestety przyczyniło się do zwiększenia objętości pracy.

W rozdziale czwartym połączone zostały przedstawione wcześniej zagadnienia teoretyczne z-badaniami rzeczywistego obiektu. Korzystając z-cech geometrycznych, masowych, aerodynamicznych statku powietrznego wyznaczone zostały wartości współczynników występujących w-równaniach dynamiki ruchu statku powietrznego. w-efekcie, zbudowany został model matematyczny konkretnego obiektu będącego przedmiotem kolejnych analiz.

Istotnym elementem decydującym o zachowaniu się badanego samolotu (zwłaszcza w-nietypowej konfiguracji quad-plane) podczas fazy przejścia jest zespół napędowy. To jego charakterystyki statyczne i dynamiczne decydują o zachowaniu się statku powietrznego i rzutują na sposób w-jaki będzie on sterowany. Wykorzystując dane z-badań w-tunelu aerodynamicznym połączone z-obliczeniami analitycznymi oraz symulacjami opracowane zostały modele matematyczne wyodrębnionych części zespołu napędowego, które po połączeniu pozwalają zamodelować jego zachowanie jako całości.

Przygotowany model matematyczny opisujący dynamikę ruchu samolotu posłużył do budowy prezentowanego w-tym rozdziale modelu symulacyjnego działającego w-środowisku MATLAB Simulink, wykorzystanego następnie do badań nad algorytmem sterowania lotem badanego obiektu.

W rozdziale piątym, Doktorantka sformułowała problem badawczy, czyli poszukiwanie trajektorii zapewniającej minimalne zużycie energii i sposobu sterowania na niej badanym samolotem. Przedstawiono cztery przykładowe trajektorie uzyskane za pomocą oprogramowania ICLOCS2, z-czego trzy różnią się między sobą narzuconymi więzami i funkcjami celu w-czwartym przypadku, gdy przejście między stanami lotu może być wykonane ze zmianą wysokości jednak przy jak najmniejszej zużytej energii uwzględniono dynamikę silników. Na tej podstawie wybrano pożądane przebiegi czasowe sygnałów sterujących, które powinny zapewnić osiągnięcie zdefiniowanego celu.

W ten sposób sformułowane zostało zadanie dla systemu sterowania lotem badanego statku powietrznego, którego synteza jest przeprowadzona w-następnym rozdziale.

Rozdział szósty przedstawia zastosowanie metody LQR (Linear-Quadratic Regulator) do wyznaczenia optymalnego sterowania, które ma przeprowadzić statek powietrzny ze stanu zawisu do lotu poziomego. Przedstawiono w-nim metodę linearyzacji oraz zbudowany parametryczny model liniowy. Zaproponowano strukturę układu sterowania oraz przeprowadzono jego syntezę. w-efekcie otrzymano parametryczny liniowy regulator, którego implementacja umożliwi utrzymanie wybranej optymalnej trajektorii lotu i przebiegów sygnałów sterujących, co powinno zapewnić wykonanie manewru przejścia między stanami z-zachowaniem minimum zużytej energii.

W rozdziale siódmym Doktorantka podsumowując przeprowadzone badania stwierdza, że cel pracy został osiągnięty. Ponadto wskazuje potencjalne korzyści mogące wynikać z-wykorzystania opracowanej metody. Podkreśla nowatorski zakres przeprowadzonych badań.

Co ciekawe, proponuje aż jedenaście obszarów badań, które w-przyszłości mogą być kontynuacją recenzowanej rozprawy. w-śród nich najciekawsze wydają się być badania nad odwrotnym przejściem, czyli ze stanu lotu do fazy zawisu oraz implementacja wyników w-rzeczywistym obiekcie i przeprowadzenie prób w-locie.

### **3. PRZYJĘTA METODYKA BADAŃ**

Zastosowana przez Doktorantkę metodyka badań jest typowa dla prac koncepcyjnych z-zakresu syntezy układów sterowania. Obejmuje kolejno etapy: analizy zagadnienia, wyboru narzędzi, przygotowania danych, budowy modeli, syntezy układu sterowania i weryfikacji jego działania.

Zastosowana metodyka jest według mnie wystarczająca dla prawidłowego przeprowadzenia opisanych w-pracy badań i pozwala na wykonanie wszystkich niezbędnych działań zmierzających do realizacji celu pracy i udowodnienia postawionej, w-przypadku recenzowanej rozprawy „w domyśle”, tezy.

Zastosowana metodyka łączy badania analityczne, symulacyjne oraz badania przeprowadzone z-wykorzystaniem rzeczywistego obiektu. Otrzymany ostatecznie algorytm sterowania jest efektem przemyślanych kilku wcześniejszych kroków.

Należy zwrócić uwagę na skuteczne i przemyślane zastosowanie oprogramowania obliczeniowego w-prowadzonych badaniach. Dzięki temu Doktorantka skupiała się na analizowanym problemie, a nie wykonywaniu obliczeń. Ten aspekt pracy zostanie szczegółowo omówiony w-dalszej części niniejszej recenzji.

Pod względem merytorycznym praca jest przygotowana prawidłowo zawiera wszystkie niezbędne elementy które powinny być zawarte w-rozprawie doktorskiej.

#### **4. WYNIKI BADAŃ, OSIĄGNIĘCIA NAUKOWE**

Jak wcześniej wspomniano, w-części badawczej rozprawy doktorskiej pani mgr inż. Katarzyny Pobikrowskiej można wyodrębnić dwie części: dotyczącą budowy modelu matematycznego opisującego dynamikę ruchu badanego obiektu oraz obejmującą dostosowanie otrzymanego modelu do wymagań wybranej metody syntezy układu sterowania i synteze tego układu. w-dalszej części niniejszego rozdziału w-takiej kolejności zostaną omówione osiągnięcia badawcze Doktorantki.

W części pracy poświęconej przygotowaniu modelu matematycznego dynamiki ruchu statku powietrznego zauważam dwa, moim zdaniem, najważniejsze z-nich to:

1. Opracowanie modelu matematycznego sił i momentów aerodynamicznych oddziałujących na statek powietrzny uwzględniającego duże kąty natarcia i ślizgu. Przedstawione w-rozdziale 4.2 zależności prezentujące zmiany współczynników aerodynamicznych całego samolotu, w-zależności od wartości kąta natarcia i kąta ślizgu w-zakresach od  $-90^\circ$  do  $90^\circ$ , zostały wyznaczone metodami numerycznymi. w-tym celu Doktorantka wykorzystwała, opublikowane już, wyniki swoich wcześniejszych prac. Przedstawienie przez Autorkę wartości wyznaczonych współczynników w-postaci wykresów płaszczyznowych, jak na rysunku 4.6 ułatwia ich interpretację. Dodatkowo zestawienie pokazane na rysunku 4.7, czyli porównanie wartości współczynników otrzymanych różnymi metodami obliczeniowymi może być traktowane jako potwierdzenie wiarygodności przeprowadzonych obliczeń. w-mojej ocenie poszukiwanie potwierdzenia otrzymanych wyników w-inny niż pierwotnie wykorzystany sposób świadczy o rzetelności i dojrzałości naukowej Autorki rozprawy. Wyznaczone wartości współczynników aerodynamicznych w-połączeniu z-danymi dotyczącymi rozkładu masy w-statku powietrznym (rozdział 4.1) pozwoliły na przygotowanie modelu dynamiki jego ruchu. Biorąc pod uwagę nietypową konfigurację obiektu uważam, że jest to istotne osiągnięcie przeprowadzonych badań.
2. Opracowanie modelu napędów, generowanych przez nie sił i momentów oddziałujących na statek powietrzny. Zagadnie to jest istotne w-kontekście recenzowanej pracy, ponieważ badany obiekt napędzany jest ośmioma śmigłami, które w-przypadku zawisu generują całkowitą siłę utrzymującą go w-powietrzu i jednym śmigłem pchającym przyspieszającym samolot w-fazie

przejścia w-płaszczyźnie poziomej. Opracowany model po pierwsze uwzględnia składowe styczną i normalną prędkości opływającego je powietrza. Po drugie, uwzględnione zostały w-nim efekty wzajemnej interferencji pomiędzy śmigłami: śmigło-śmigło w-konfiguracji współosiowej śmigło-śmigło pomiędzy przodem, a tyłem samolotu oraz śmigłami, a elementami konstrukcji, które w-efekcie prowadzą do zmniejszenia efektywności napędu. w-tym miejscu należy podkreślić, że zagadnienie degradacji efektywności napędu pionowego ma szczególne znaczenie w-trakcie fazy pionowego startu statku powietrznego w-konfiguracji jak badana w-rozprawie doktorskiej. w-przeciwieństwie do całkowicie analitycznie przygotowanego, modelu napędu pchającego przedstawionego w-rozdziale 4.3.1., model napędów pionowych został częściowo opracowany na podstawie badań przeprowadzonych w-tunelu aerodynamicznym. w-tym etapie pracy Doktorantka w-interesujący sposób połączyła wynik badań eksperymentalnych oraz modele analityczne. Zawarta w-rozdziale 4.3.2 metoda, zgodnie z-którą powstał model sił i momentów generowanych przez rodzi szereg pytań, które zostaną zadane w-dalszej części niniejszej recenzji. w-tym miejscu, należy podkreślić pozytywną dociekliwość Autorki co do jakości przeprowadzonych obliczeń. Otrzymane modele, porównała z-danymi pozyskanymi w-trakcie prób w-tunelu aerodynamicznego. Niestety nie miała możliwości weryfikacji wyników dla tzw. dużych kątów natarcia. Chciałbym podkreślić, że Doktorantka nie podchodzi bezkrytycznie do otrzymanych wyników, jest świadoma istnienia szeregu błędów będących skutkiem zastosowanych przybliżeń, uproszczeń - na stronach 148-149 podaje dziewięć powodów niepewności opracowanych modeli.

W części pracy poświęconej syntezy układu sterowania daje się zauważyć inne niż „typowo automatyczne” podejście do zagadnienia. Autorka skupia się na wyborze metody obliczeń, przygotowaniu założeń dla modelu obliczeniowego i moim zdaniem, przemyślanym i skutecznym wykorzystaniem gotowych narzędzi. w-tym miejscu pragnę podkreślić, że nie stosuje ich automatycznie. Wie, na jakich podstawach teoretycznych bazuje i co chce uzyskać. Nie skupia się na samych obliczeniach, a na właściwym sformułowaniu problemu przygotowaniu danych i prawidłowym użyciu narzędzi. w-tej części pracy, w-mojej opinii najważniejszy jest rozdział piąty. w-nim Doktorantka formułuje problem do rozwiązania w-tym: definiuje założenia, uproszczenia i narzuca ograniczenia. w-tym kontekście rozdział szósty jest „jedynie” rozwiązaniem zdefiniowanego zadania. Uważam, że do najważniejszych osiągnięć Autorki rozprawy w-tej części pracy należy zaliczyć:

1. Właściwe zdefiniowanie zadania, którego specyficzną częścią jest wybór przykładowych manewrów przejścia różniących się od siebie ograniczeniami, zastosowanymi wskaźnikami jakości oraz strukturą modelu – mam na myśli dynamikę mechanizmów wykonawczych. Wynik przeprowadzonego procesu optymalizacji przygotowującego do syntezy układu sterowania zestawiono w-tabeli 5.1.



2. Opracowanie struktury układu sterowania, przygotowanie modelu obliczeniowego, wybór wartości wag występujących w-macierzach  $Q$  i  $R$  będących zgodnie z-zastosowaną definicją metody syntezy regulatora LQR. Przedstawiona na rysunku 6.3 struktura układu sterowania pozwala na wyznaczenie współczynników regulatora w-taki sposób, aby statek powietrzny podczas fazy przejścia z-zawisu do lotu odtworzył trajektorię lotu oraz przebiegi wybranych zmiennych stanu odwzorowujących te, z-wybranego manewru uznanego za optymalny. Przeprowadzona linearyzacja modelu, z-rezultatem w-postaci parametrycznego modelu liniowego (w którym czas jest parametrem) jest ciekawym, lecz dyskusyjnym rozwiązaniem. Wybór macierzy wagowych jest kluczowy dla wyniku obliczeń. Przedstawione na stronie 194 wartości dobrane zgodnie z-przyjętymi dla metody LQR zasadami, jednak według wiedzy eksperta, okazały się prawidłowe co potwierdzają wyniki przedstawione na rysunkach 6.5-6.8. w-tym rozdziale pojawiają się nietypowe z-punktu widzenia teorii sterowania wykresy pokazujące wędrówkę biegunów układu otwartego i zamkniętego w-funkcji wykorzystywanego stanu modelu liniowego. Taką prezentację zachowania się układu zamkniętego i otwartego uznaję za ciekawostkę wartą wspomnienia. Informacja w-nich zawarta w-połączeniu z-danymi z-rysunku 6.1 może wskazywać, w-której części manewru można spodziewać się mówiąc żargonowo „mniejszych lub większych kłopotów związanych ze sterowaniem obiektem”.

W rozdziale trzecim przedstawione zostały ogólne równania ruchu samolotu traktowanego jako bryła sztywna. Zostały one wyprowadzone na podstawie znanych zasad opisujących dynamikę ruchu bryły sztywnej. Jednak w-przeciwieństwie równań zamieszczanych w-fachowej literaturze nie zakładają, że samolot jest bryłą symetryczną względem jego płaszczyzny  $X_B Z_B$  oraz że środek układu współrzędnych związanego z-samolotem  $X_B Y_B Z_B$  znajduje się w-środku ciężkości samolotu. Dlatego uważam, że ze względów dydaktycznych jest to ciekawy fragment recenzowanej rozprawy.

## 5. UWAGI KRYTYCZNE

Mimo wysokiego poziomu merytorycznego całej rozprawy, Autorka nie ustrzegła się kilku różnego rodzaju błędów.

Praca jest stosunkowo obszerna, Doktorantka w-kilku początkowych rozdziałach zamieściła znaczną ilość treści przedstawiających ogólnie dostępną podbudowę teoretyczną prowadzonych badań, która jest łatwo dostępna w-źródłach literaturowych.

Według mnie największym mankamentem rozprawy jest to, że Doktorantka opisując swoje osiągnięcia przedstawia je jako łatwe, trywialne, oczywiste, nie warte wyjaśnień. w-efekcie, czytelnik często musi się domyślać jakie badania zostały przeprowadzone i jaki jest ich końcowy efekt. Trudności z-interpretacją wyników badań są potęgowane przez występujące braki w-wyjaśnieniach znaczenia symboli, użycie tych samych symboli dla opisu różnych zmiennych (równania 5.1.4) oraz nieczytelne

rysunki (rysunek 4.17). Niekiedy przedstawione wyniki obliczeń są nadmiarowe, odbiegają od głównego nurtu pracy sprawiają, że czytelnik zastanawia jakie jest ich znaczenie dla przeprowadzonych badań.

Zastosowanie przez Doktorantkę skrótów myślowych jest szczególnie dokuczliwe w-rozdziałach czwartym, piątym i szóstym np.

- Modelując współczynniki ciągu i mocy zespołu napędowego korzysta z-równań 4.3.2 i 4.3.3 nie podając czy jest to efekt własnych badań czy zostały zaczerpnięte z-literatury. Nie wiadomo, dlaczego te równania zostały wybrane?
- Wykorzystując oprogramowanie narzędziowe nie przedstawia przykładowych zestawów i formy danych do niego dostarczanych. Na przykład, stosując metodę LQR nie przedstawiono ani jednego przykładowego zestawu macierzy opisujących model i odpowiadającego mu wyznaczonego zestawu współczynników wzmocnień.
- Rysunek 6.1 przedstawia właściwości systemu, które nie są nigdzie w-pracy wykorzystane. Dodatkowo zaprezentowane wyniki wskazują, że: 1) system nie jest kontrolowalny. Skąd w-takim razie pewność, że kontrolowalne będą zmienne stanu odpowiadające za prawidłowe odwzorowanie wybranej trajektorii lotu? 2) dla różnych stanów pracy modelu zmienia się poziom sterowalności. Nie wyjaśniono, jaka jest przyczyną tego zjawiska?
- Nie wyjaśniono w-jaki sposób zostały wybrane wartości w-macierzach Q i R na stronie 194.

## 6. WNIOSKI KOŃCOWE

Mimo wymienionych we wcześniejszych rozdziałach niniejszej recenzji słabszych stron opiniowanej rozprawy oraz uwag krytycznych pod jej kierunkiem uważam, że przedstawiona mi do oceny rozprawa doktorska pani mgr. inż. Katarzyny Pobikrowskiej charakteryzuje się bardzo dobrym i spełniającym w-całym zakresie wymagania stawiane przed rozprawami doktorskimi poziomem merytorycznym. Przedstawia indywidualne nowatorskie osiągnięcia naukowe Doktorantki w-obszarze modelowania dynamiki ruchu statków powietrznych i sterowania ich ruchem z-uwzględnieniem cech charakterystycznych wybranego obiektu badań. Opisane w-rozprawie osiągnięcia mogą być wykorzystane w-jej przyszłych badaniach naukowych. Dodatkowo są one na tyle uniwersalne, że mogą być wykorzystane jako narzędzia przez innych badaczy w-różnych zastosowaniach nie tylko związanych z-lotnictwem czy inżynierią mechaniczną. Lektura rozprawy przekonuje, że Doktorantki posiada bardzo dużą wiedzę w-zakresie tematyki poruszanej w-pracy i potrafi ją prawidłowo wykorzystać w-swoich badaniach. Pani mgr inż. Katarzyna Pobikrowska w-pełni posiadała umiejętność formułowania celu naukowego badań, zna metodyki prowadzenia badań naukowych oraz potrafi wyciągać wnioski poparte wiedzą posiadaną w-obszarach objętych przedstawioną rozprawą.

Na tej podstawie wnioskuję o dopuszczenie do publicznej obrony przedstawionej pracy jako rozprawy doktorskiej w-dyscyplinie naukowej inżynieria mechaniczna,



zgodnie z-warunkami określonymi w-art. 13 ustawy „O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w-zakresie sztuki” (Dz. U. Nr 65 poz. 595 z-dnia 14.03.2003 r.).

*Rogami.*

