

Kielce, dnia 26.04.2022 r.

prof. dr hab. inż. Zbigniew Koruba
Politechnika Świętokrzyska
Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn
Katedra Mechatroniki i Uzbrojenia

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgra inż. **Adriana PAWEŁKA**

pt „**Optymalizacja procesu sekwencjonowania ruchu lotniczego**”

Podstawa wykonania recenzji: pismo RNDIM/52116/2022 Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Warszawskiej prof. dr hab. inż. Roberta Sitnika z dnia 07 marca 2022 roku z prośbą o opracowanie recenzji zgodnie z decyzją Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Warszawskiej z dnia 2 marca 2022 r.

1. Sylwetka Doktoranta

Mgr inż. Andrzej Pawełek urodził się 18 września 1992 r.. W latach 2008 – 2011 uczęszczał do klasy o profilu matematyczno-fizyczno-informatycznym w Liceum Ogólnokształcącym im. Mikołaja Kopernika w Rzeszowie. W 2016 roku ukończył z wyróżnieniem studia (Summa Cum Laude) w Politechnice Warszawskiej na Wydziale Mechanicznym Energetyki i Lotnictwa na kierunku Lotnictwo i Kosmonautyka w specjalności: Automatyka i Systemy Lotnicze. Od marca 2017 r. jest uczestnikiem studiów doktoranckich na wydziale Mechanicznym Energetyki i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej.

Równolegle z pracą naukową zdobywał doświadczenie w działalności zawodowej w następujących obszarach i okresach:

- ✓ Instytut Lotnictwa – Engineering Design Center – Software Engineer – pracował w projektach dla GE Aviation: Rozwój, weryfikacja i walidacja systemów awionicznych – od kwietnia 2017 r.
- ✓ Kapitech – pracował jako młodszy Konsultant ds. zarządzania innowacjami w biznesie kosmicznym, uczestnicząc w projekcie ClimLab dla Europejskiej Agencji Kosmicznej – w okresie od 10.2016 r. do 02.2017 r.
- ✓ Studenckie Koło Aerodynamiki Pojazdów (SKAP) – projektował oraz programował systemy wbudowanych opartych na magistrali CAN, dla prototypowych samochodów

energooszczędnych Kropelka 2015 i PAKS+ (C, STM32); Kierownik działu elektroniki i zakupów podzespołów elektronicznych – w okresie od 11.2012 r. do 02.2016 r.

Należy podkreślić, że Doktorant brał udział w następujących projektach badawczych:

- ✓ Przemysł 4.0 (opracowanie materiałów edukacyjnych dotyczących identyfikacji modeli ruchu statków powietrznych) w okresie 11.2019 – 02.2020.
- ✓ Metodyka syntezy systemu sterowania statkiem powietrznym z uwzględnieniem sytuacji podwyższonego ryzyka (symulacja algorytmów nawigacji) w okresie 09.2015 - 02.2016.
- ✓ Autonomiczne Platformy Nawodne (modelowanie i analiza błędów systemów akustycznego pozycjonowania) w okresie od 08.2014 do 02.2015.

Ponadto, był nagradzany następującymi stypendiami:

- ✓ Stypendium rektora dla najlepszych doktorantów na I, II i III rok studiów doktoranckich.
- ✓ Stypendium Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego za wybitne osiągnięcia na rok akademicki 2015/2016.
- ✓ Stypendium Rektora za wyniki w nauce na I, II i III semestr studiów magisterskich.
- ✓ Stypendium Rektora za wyniki w nauce na IV, V i VII semestr studiów inżynierskich.

Zdobywał także czołowe zespołowe pozycje w zawodach Shell Eco-marathon kolejno w latach 2013, 2014 i 2015.

Doktorant jest współautorem trzech artykułów w czasopismach JCR:

1. Pawełek Adrian, Lichota Piotr: Arriving air traffic separations generalized model identification, Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences, 2022, DOI: 10.24425/bpasts.2022.140694, 100 punktów, IF(1,662) (artykuł zaakceptowany do publikacji, dostępny w Early Access: <https://doi.org/10.24425/bpasts.2022.140694>).
2. Pawełek Adrian, Lichota Piotr, Dalmau Ramon, Prats Xavier: Fuel-Efficient Trajectories Traffic Synchronization, Journal of Aircraft, vol. 56, nr 2, 2019, s. 481-492, DOI:10.2514/1.C034730, 100 punktów, IF(1,110) (w chwili publikacji: 70 punktów).
3. Narkiewicz Janusz, Topczewski Sebastian, Żugaj Marcin, Pawełek Adrian: Integrated attitude and navigation system for small airplane, Journal of KONES, Łukasiewicz Research Network – Institute of Aviation, vol. 24, nr 1, 2017, s. 339-348, DOI:10.5604/01.30001.0010.2838, 14 punktów.



Poza tym, uczestniczył aktywnie w 5 konferencjach prezentując wyniki swoich badań oraz zamieszczając referaty w materiałach konferencyjnych. Parametry bibliometryczne Doktoranta, w moim przekonaniu, są stosunkowo dobre, bowiem h-indeks wynosi 3 – wg Google Scholar i Scopus – z liczbą cytowani 27 i 18, odpowiednio.

2. Krótka charakterystyka rozprawy

Rozprawa doktorska pt. *„Optymalizacja procesu sekwencjonowania ruchu lotniczego”* została napisana na 181 stronach wraz ze spisem 147 pozycji literatury, z czego 7 z nich są pracami Doktoranta (1 autorska oraz 6 współautorskich) uporządkowanych w kolejności odwołań; Streszczeń (zarówno w języku polskim, jak i angielskim); Spisu treści; Wykazu oznaczeń (akronimów, symboli i notacji); Wykazu rysunków, Wykazu tabel; 5 Rozdziałów, w tym Wprowadzenia i Podsumowania; Bibliografii.

W Rozdziale 1 przedstawione zostało uzasadnienie wyboru tematu rozprawy, a także jej skrótowa zawartość cel i teza. Jako cel rozprawy Doktorant określił *„opracowanie nowego podejścia, umożliwiającego usprawnienie procesu kontroli przychodzącego ruchu lotniczego w strefach kontrolowanych lotniska na wszystkich etapach planowania, które w rezultacie skutkować będzie optymalizacją procesu sekwencjonowania ruchu lotniczego”*. Jednocześnie tezę sformułował następująco: *„możliwe jest zbudowanie generycznego modelu separacji oraz optymalizacja separacji ruchu przychodzącego przy wykorzystaniu danych o przeszłym ruchu lotniczym”*. Ponadto, Doktorant dużo uwagi poświęca opisowi współczesnym problemom związanym z kontrolą ruchu lotniczego; natężeniu ruchu lotniczego; opóźnieniom lotów; strajkom personelu lotniczego; wypadkom i incydentom przy lądowaniu; zmianom klimatu oraz polityki Unii Europejskiej. Na zakończenie Rozdziału 1 dokonuje przeglądu stanu wiedzy i techniki analizując literaturę oraz stanu techniki. Krótko przeprowadza rozważania na temat automatyzacji zarządzania ruchem lotniczym.

W Rozdziale 2 pt. *„Wyznaczenie separacji czasowych”* Doktorant opisuje separacje lotnicze oraz sekwencjonowanie ruchu lotniczego; wyprowadza model dynamiki samolotu; metody pozyskiwania danych o konfiguracji lotnisk i o ruchu lotniczym; przedstawia sposoby pozyskiwania danych i otrzymywania oraz obliczania separacji czasowych a także uzyskiwania konwersji danych w formę trajektorii lotu. Poświęca także nieco czasu w swoich rozważaniach walidacji i przygotowaniu danych do przetwarzania. Należy podkreślić, że Doktorant zastosował uproszczony model uskrzydłonego punktu materialnego. Założył zatem, że samolot można traktować jako punkt materialny. Ponadto pominął wpływ wiatru, (uznał, że prędkość wiatru można dodać do prędkości samolotu, jeśli jest to wymagane lub zrównoważyć poprzez zmianę



ciągu). W badaniach przyjął również równowagę pionową, co znaczy, że nie uwzględnił wpływu dynamiki kąta toru lotu. Ponadto, w Rozdziale tym Autor uzasadnia konieczność częściowej automatyzacji pracy kontrolerów ruchu lotniczego, gdyż poza zachowaniem bezpieczeństwa operacji lotniczych, coraz więcej uwagi będą musieli poświęcać utrzymaniu przepustowości oraz efektywności operacji lotniczych. Rosnąca złożoność zarządzania separacją wymagać będzie wykorzystania dodatkowych narzędzi oraz algorytmów w ich pracy.

Rozdział 3 poświęcony jest identyfikacji uogólnionego modelu separacji czasowych w przychodzącym ruchu lotniczym. Doktorant analizuje rozkład separacji w ruchu lotniczym wraz z identyfikacją parametrów rozkładów prawdopodobieństwa (zasada największej wiarygodności, macierz informacyjna Fishera, model separacji czasowych dla pojedynczego dnia przylotów); dokonuje identyfikacji uogólnionego modelu (analiza regresji, wyznaczenie współczynników determinacji oraz nierówności Theila. Przedstawiony jest uogólniony model separacji czasowych wraz z ich zastosowaniem oraz przykładowa aplikacja modelu uogólnionego. Należy zauważyć, że modele separacji czasowych przychodzącego ruchu lotniczego w postaci ciągłego rozkładu prawdopodobieństwa, zarówno model uogólniony, jak i modele lotnisk, mogą mieć szereg praktycznych zastosowań. Dzięki swoim głównym zaletom, takim jak prostota i elastyczność, umożliwiają one wszechstronność użycia. Wykorzystanie jednego jawnego wzoru, sformułowanego jasno i szczegółowo, pozwala na szybką i niezawodną implementację modelu w różnorodnych środowiskach symulacyjnych i obliczeniowych, nie pozostawiając miejsca na wątpliwości.

W Rozdziale 4 zaprezentowane zostało optymalne sekwencjonowanie ruchu lotniczego. Dokonano linearyzacji zagadnienia sekwencjonowania samolotów, w tym linearyzacji równania więzów, funkcji kosztu. Wyznaczono wartości parametrów zadania optymalizacji. Rozważono problem optymalizacyjny mieszany całkowitoliczbowy liniowy oraz sekwencjonowania samolotów przy użyciu MILP. Sformułowane zostało zagadnienie sekwencjonowania samolotów w postaci MILP. Przeprowadzono analizę wykonalności i optymalności.

Generalnie, Autor stawia sobie za główny cel zagadnienie sekwencjonowania samolotów jako sformułowanie w sposób matematyczny tego problemu. Jego rozwiązanie umożliwia zaplanowanie zestawu lotów w taki sposób, aby każdy samolot był w stanie zachować bezpieczną separację z innymi samolotami w wybranym punkcie nawigacyjnym. Uwzględnia przy tym ograniczenia fizyczne, w postaci okien czasowych, w których samolot może się znaleźć w zadanym punkcie. Dla zapewnienia optymalności rozwiązania definiuje funkcję kosztu, która po-



zwala na określenie kryterium optymalności. Zbadana została wykonalność zadania sekwencjonowania samolotów przy uwzględnieniu zastosowania połączenia technik energetycznie neutralnych CDO, RTA, TBS oraz RECATEU.

Rozdział 5 stanowi podsumowanie rozprawy, wyciągnięcie wniosków końcowych i przedstawienie perspektywy dalszych badań. Można uznać, że uzyskane wyniki potwierdzają osiągnięcie celów niniejszej dysertacji oraz słuszność postawionej tezy. Przedstawione metody umożliwiają optymalizację procesu sekwencjonowania ruchu lotniczego na wszystkich etapach planowania: strategicznego, przedtaktycznego oraz taktycznego w wielu aspektach, m.in.: modelowania, oceny, analizy oraz kontroli ruchu lotniczego.

Należy stwierdzić, że układ i struktura rozprawy są poprawne, a źródła literaturowe są dobrane właściwie i w wystarczającej liczbie. Dokonany jest przegląd literatury, przedstawione są cel i teza pracy oraz obiekt badań. Naświetlone zostało także uzasadnienie wyboru tematu i określenie jego szerokiej problematyki, obejmującego przeprowadzenie wielu badań i analiz. Należy podkreślić, że zostały opracowane nowe algorytmy sekwencjonowania ruchu lotniczego. Przytoczone w przejrzysty sposób wyniki badań występują zarówno w wersji graficznej, jak i tabelarycznej. Na zakończenie rozprawy Doktorant dokonuje podsumowania i wyciąga trafne wnioski końcowe.

3. Rozważania dotyczące rozprawy

Zastosowanie połączonych koncepcji RTA z CDO na szeroką skalę wymaga powstania nowych lub ulepszenia istniejących systemów zarówno naziemnych, jak i pokładowych, w celu zapewnienia możliwości zaawansowanego planowania, nawigacji i sterowania, które będą zdolne do spełnienia wymagań wspomnianych koncepcji. Poza gotowością koncepcji i algorytmów, należy również zwrócić uwagę na gotowość technologiczną systemów do przeprowadzania lub wspomagania procesów sekwencjonowania ruchu lotniczego. Systemy te, aby zapewnić pełną obsługę procesu, muszą być w pełni scyfryzowane, aby umożliwić aktualizację danych w czasie rzeczywistym oraz zapewniać autonomiczność działania, a także elastyczne, w celu umożliwienia ciągłego rozwoju, aktualizacji i modyfikacji.

Zmiany te mają na celu przede wszystkim zwiększenie efektywności sekwencjonowania ruchu lotniczego przez kontrolerów, tak aby zmniejszyć zużycie paliwa, a zarazem emisję CO₂. Jednym z głównych celów poszerzania horyzontu systemu AMAN jest umożliwienie wcześniejszego wyznaczania sekwencji przylotów oraz ułatwienia zarządzania trajektoriami z ciągłym niżaniem.



Można przypuszczać, że badania przeprowadzone przez Doktoranta w niniejszej pracy pozwolą na zwiększenie poziomu automatyzacji do celów analizy informacji, decyzji i wyboru działania oraz realizacji działania.

Za oryginalne osiągnięcie mgr, inż. A. Pawełka należy uznać:

1. Opracowanie metody identyfikacji uogólnionego modelu separacji pomiędzy samolotami w funkcji liczby przylotów na podstawie danych o przeszłym ruchu lotniczym.
2. Opracowanie metody umożliwiającej automatyczne sekwencjonowanie samolotów w celu utrzymania zadanej separacji z wykorzystaniem nowych koncepcji: operacji z ciągłym zniżaniem, wymaganym czasem przylotu oraz separacjach bazujących na czasie.
3. Opracowanie procesu przygotowania trajektorii (m.in. walidacja, filtracja) uzyskanych z danych o przeszłym ruchu lotniczym do zastosowania w przedstawionych metodach.
4. Wykazanie, że w większości przypadków możliwe jest rozwiązanie zagadnienia identyfikacji separacji czasowych przychodzącego ruchu lotniczego w wybranym punkcie nawigacyjnym wykorzystując dane o przeszłym ruchu lotniczym, poprzez połączenie metody największej wiarygodności oraz regresji nieliniowej, a uzyskany w wyniku tego uogólniony model separacji czasowych można wyrazić bezpośrednio w postaci funkcji gęstości prawdopodobieństwa rozkładu Cauchy'ego, gdzie parametry rozkładu wyrażone są funkcjami potęgowymi, których argumentami jest liczba przylotów,
5. Wykazanie, na podstawie danych o przeszłym ruchu lotniczym, że w większości przypadków możliwe jest rozwiązanie zagadnienia sekwencjonowania przychodzącego ruchu lotniczego w przypadku jednoczesnego stosowania operacji z ciągłym zniżaniem, wymaganego czasu przylotu, separacji bazujących na czasie oraz rozpoczęciu kontroli trajektorii zniżania w odległości 250 NM od punktu docelowego, poprzez odpowiednie sformułowanie i rozwiązanie problemu optymalizacyjnego mieszanego całkowitoliczbowego liniowego,

W rozprawie dopatrzeć się można kilku źródeł błędów, do których można m.in. zaliczyć następujące:

1. Rozdzielczość danych o ruchu lotniczym nie była w pełni wystarczająca do potrzeb niniejszych badań, mimo zastosowania najbardziej wiarygodnego źródła danych (bazy DDR2), z czego wyniknęła potrzeba estymacji wartości pomiędzy punktami trajektorii.
2. Wykorzystanie modelu dynamiki jednego samolotu (Airbus A320), którego własności dynamiczne pozwoliły bardzo dobrze odzwierciedlić trajektorie około 80 % lotów. Ponadto, funkcja zużycia paliwa $FF(t)$ nie została przedstawiona.



3. Model nie uwzględnia zmienności warunków atmosferycznych.

Należy jednak podkreślić, że żadne ze źródeł błędów nie ma istotnego wpływu na jakość uzyskanych wyników oraz poprawność przedstawionych metod.

Podobnie jak w wielu pracach z tej tematyki przeprowadzona została walidacja, ale nie wykonano analizy odporności dla opracowanej metody.

Eliminacja tych błędów lub minimalizacja ich wpływu pozwoliłaby uzyskać dokładniejsze wyniki w przyszłych badaniach.

Warto zaznaczyć, że zarówno opracowane metody jak i uzyskane wyniki cechują się dużą oryginalnością.

Zatem opiniowana rozprawa doktorska, łączy osiągnięcia mechaniki z elektroniką, informatyką i automatyką, ma zatem charakter mechatroniczny. Niewątpliwie można ją umieścić w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.

Wobec powyższego, wybór tematu rozprawy uważam za trafnie dobrany zarówno z teoretyczno-poznawczego jak i przede wszystkim utylitarnego punktu widzenia, bowiem w opracowanej metodzie tkwi potencjał rozwojowy.

4. Uwagi ogólne i szczegółowe dotyczące rozprawy

Najogólniej mogę stwierdzić, że rozprawa doktorska mgr inż. Adriana Pawełka napisana została na bardzo wysokim poziomie merytorycznym, redakcyjnym i stylistycznym.

Doktorant wykazał się umiejętnością naukowego podejścia do rozwiązywanych zagadnień naukowych, czego wyrazem są samodzielne i współautorskie publikacje w czasopismach naukowych notowanych na JCR (liście A Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego, jak i na liście B.

Z uwag ogólnych i pytań, inspirujących dysputę naukową, miałbym następujące:

1. Doktorant w rozprawie dokonał walidacji, ale czy wykonał analizę odporności dla opracowanej metody?
2. Czy macierze pomiarowe były sprawdzane na istnienie korelacji między ich poszczególnymi kolumnami? Czy Informacyjna Macierz Fishera była we wszystkich przypadkach dobrze uwarunkowana?
3. W jakim stopniu eliminacja, wymienionych w poprzednim rozdziale niniejszej recenzji, błędów lub minimalizacja ich wpływu pozwoliłaby uzyskać dokładniejsze wyniki w przyszłych badaniach?
4. Nadmiernie rozbudowany (aczkolwiek bardzo ciekawy poznawczo) podrozdział 1.2.

5. Podrozdział 2.1 wydaje się być zbędny w pracy. Doktorant przytacza podręcznikowe informacje dotyczące układów współrzędnych i wielkości fizycznych stosowanych w lotnictwie oraz modelu dynamiki samolotu, podczas gdy w dalszej części pracy w ogóle nie są używane. W zupełności wystarczyłoby przytoczyć wzór (2.9).
6. Podrozdziały 1.2 i 2.1 mogłyby stanowić załączniki rozprawy, przez co praca zyskałaby na przejrzystości.
7. Właściwszym byłoby uprzednie przedstawienie stanu wiedzy i techniki oraz przeglądu literatury, po czym dopiero uzasadnienie wyboru tematu i określenie celu i tezy rozprawy.

Natomiast z uwag szczegółowych wymieniałbym następujące (ustereki redakcyjne, nazewnicze i stylistyczne):

- ✓ z jakiego powodu używane są jednostki NM?
- ✓ poprawne jest określenie „ciąg” nie zaś „siła ciągu” (59⁶);
- ✓ we wzorze (2.18) jednostka kąta stopniowego oznaczana jest jednocześnie jako „^o” i „deg” – brak konsekwencji;
- ✓ niewłaściwe użycie słowa „posiadać” zamiast „mieć” (np. str. 92¹, 95¹, 117⁷, 126¹⁴, 126⁴, 132⁷);
- ✓ niewłaściwe użycie słowa wielkość, zamiast „rozmiar” (str. 117⁵);
- ✓ dwukrotne powtórzenie słów: „sprawił” (str. 33⁵), „mogą” (str. 145²);
- ✓ niewłaściwe użycie słowa „moment” zamiast „chwila” (np. str. 28¹², 28¹⁶, 37¹³, 37¹⁷, 121¹¹, 132⁶);
- ✓ używanie żargonów, np. „sztuczne dane” (str. 46¹⁰, 46⁴), „kryteria stopu” (chyba kryteria zatrzymania? – str. 92, 100), „z racji na fakt” (str. 102).
- ✓ zamiast „jest obecności” powinno być „jest obecność”;
- ✓ zamiast „punktu” powinno być „punkt”.

Wszystkie powyższe usterki odnotowane są bezpośrednio na stronach recenzowanego egzemplarza rozprawy. Zaznaczam jednak, że powyższe uwagi mają charakter dyskusyjny lub redakcyjny i w żadnej mierze nie wpływają na jakość ocenianej rozprawy.

5. Podsumowanie

Celem pracy było opracowanie nowego podejścia, umożliwiającego usprawnienie procesu kontroli przychodzącego ruchu lotniczego w strefach kontrolowanych lotniska na wszystkich etapach planowania, które w rezultacie skutkować będzie optymalizacją procesu sekwencjonowania ruchu lotniczego. Stwierdzam, że cel pracy został osiągnięty.



Sformułowano tezę, mówiącą, że możliwe jest zbudowanie generycznego modelu separacji oraz optymalizacja separacji ruchu przychodzącego przy wykorzystaniu danych o przeszłym ruchu lotniczym. Wyniki badań potwierdzają tezę pracy.

Podsumowując rozprawę mogę stwierdzić, że jej temat jest aktualny i rozwojowy, teza została udowodniona, a postawiony cel został osiągnięty. Zagadnienie naukowe, którego rozwiązania podjął się Doktorant zostało zbadane dosyć wnikliwie i wszechstronnie. Analizy wyników teoretycznych, symulacyjnych i eksperymentalnych zostały przeprowadzone należycie i nie budzą zastrzeżeń, a ich interpretacja i sformułowane wnioski są prawidłowe.

Chciałbym ponadto podkreślić następujące aspekty rozprawy:

- ✓ Zagadnienie naukowe zostało jasno sformułowane i rozwiązane, a cel naukowy został osiągnięty.
- ✓ Rozprawa ma charakter zarówno projektowo-symulacyjny, jak i teoretyczno-dowodzący.
- ✓ Rozprawę można jednoznacznie zaliczyć do dyscypliny „*inżynieria mechaniczna*”.
- ✓ Doktorant wykazał się wysokim poziomem wiedzy we wspomnianej dyscyplinie oraz wykazał umiejętność i cechy do samodzielnego prowadzenia badań naukowych.
- ✓ Doktorant właściwie przeprowadził analizę piśmiennictwa i stan wiedzy zagadnienia naukowego.

6. Ocena końcowa rozprawy

Rozprawę doktorską mgr. inż. Adriana Pawełka oceniam bardzo wysoko, gdyż przedstawia oryginalne własne osiągnięcie naukowe. Ma ona poważne walory poznawcze i przede wszystkim użyteczne. Praca świadczy o bardzo dobrym przygotowaniu merytorycznym Autora. Doktorant bowiem wykazał nie tylko obszerną wiedzę z automatyki, metod symulacyjnych, numerycznych i optymalizacyjnych oraz z programowania, ale również dużą dojrzałość naukową w formułowaniu zagadnień i realizacji rozwiązań. Stanowi to podstawę do stwierdzenia, że mgr inż. Adrian Pawełek ma bardzo dobre przygotowanie teoretyczne i warsztatowe do twórczej pracy naukowej.

Ponadto stwierdzam, że niniejsza rozprawa spełnia wszystkie wymagania stawiane pracom doktorskim przez aktualnie obowiązującą Ustawę o tytule i stopniach naukowych. Wysoki poziom naukowy, redaktorski i stylistyczny rozprawy sprawia, że zasługuje ona na dopuszczenie jej do publicznej obrony.



Biorąc pod uwagę zakres rozprawy, sposób podejścia do problemu naukowego i uzyskane wyniki, a przede wszystkim, możliwość ich zastosowania do zoptymalizowania i zautomatyzowania kontroli ruchu lotniczego (moim zdaniem bardzo oryginalne i innowacyjne) – wnoszę aby Rada Dyscypliny Naukowej „Inżynierii Mechanicznej” Politechniki Warszawskiej rozważyła możliwość **wyróżnienia** niniejszej dysertacji.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Koruba', is located in the upper right quadrant of the page.