

Kielce, dnia 03.06.2024 r.

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

Recenzja

rozprawy doktorskiej **mgra inż. Piotra TURKA**

pt „**Przetwarzanie sygnałów i danych topograficznych w głowicy samonaprowadzania platformy latającej**”

Podstawa wykonania recenzji: pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Wojskowej Akademii Technicznej prof. dr hab. inż. Jerzego Małachowskiego z dnia 22 kwietnia 2024 roku z prośbą o opracowanie recenzji zgodnie z uchwałą nr 26/RDN IM/2024 Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Wojskowej Akademii Technicznej z dnia 17 kwietnia 2024 r.

1. Sylwetka Doktoranta

Mgr inż. Piotr TUREK urodził się 11.06.1989 roku w Paczewie. W latach 2012 roku ukończył studia inżynierskie w na kierunku mechatronika w specjalności *Eksploatacja przeciwlotniczych zestawów raketowych* i uzyskał tytuł inżyniera. Po zakończeniu w 2013 roku studiów magisterskich na tym samym kierunku i specjalności w Wojskowej Akademii Technicznej, otrzymał tytuł zawodowy magistra.

Przebieg pracy zawodowej Doktoranta wyglądał następująco: w latach 2013 – 2016 był młodszym inżynierem – Stacja Naprowadzania Raket, Bateria Radiotechniczna, Zespół Ogniowy, 33. Dywizjon Raketowy Obrony Powietrznej.

W okresie od 08 stycznia do 09 marca 2018 roku odbył kurs kwalifikacyjny na STE w WAT w stopniu kapitana. Inne kursy podwyższające jego kwalifikacje zawodowe były następujące: a) kurs „Missile and Aerial Target 3D Model Design, Certificate No. 161333KKY8, 03.2018; b) kurs AutoCAD – AutoCAD 2013 Essentials, AutoCAD 2013 Intermediate, 10.2013.

W okresie od 2016 – 2018 r. zajmował stanowisko inżyniera w Katedrze Mechatroniki Wydziału Mechatroniki i Lotnictwa Wojskowej Akademii Technicznej, Natomiast od 2018 r.



do chwili obecnej jest asystentem w Instytucie Techniki Raketowej i Mechatroniki Wydziału Mechatroniki, Uzbrojenia i Lotnictwa Wojskowej Akademii Technicznej.

Doktorant brał czynny udział jako wykonawca w 3 projektach z obszaru obronności i bezpieczeństwa państwa finansowanych przez NCBR:

1. „Układ przetwarzania i rozpoznawania obrazów terenu w czasie rzeczywistym do systemów rozpoznania i samonaprowadzania” od 16.07.2018 do 15.11.2021 r.
2. „Opracowanie i wykonanie symulatora proceduralno-diagnostycznego przeciwlotniczego zestawu raketowego w technologii wirtualnej (Virtual Reality – VR) z elementami technologii poszerzonej rzeczywistości (Augmented Reality – AR)”, od 12.04.2017 do 31.05.2017 r.
3. „35 mm automatyczna armata morska KDA z zabudowanym na okręcie systemem kierowania ogniem wykorzystującym Zintegrowaną Głowicę Śledzącą ZGS-158 wykonaną w wersji morskiej wraz ze stanowiskiem kierowania ogniem”, od 19.12.2016 r. do 18.10.2018 r.

Był ponadto wykonawcą w następujących pracach naukowo-badawczych:

4. „Autonomiczny pojazd kołowy z modułem uzbrojenia do zadań rozpoznawczych i bojowych”, czas realizacji od 05.10.2018 do 04.04.2021, ,
5. „Wykonanie oprogramowania komputera pokładowego oraz komputera obsługi zdalnej dla Jednostki Ogniowej Przeciwlotniczych Systemów Rakietowo-Artyleryjskich bliskiego zasięgu PILICA” od 06.2017 do 30.01.2022 r.
6. „Modyfikacja aparatury zestawu PZR S-200C WEGA” od 04.05.2021 do 30.11.2024 r.

Należy podkreślić, że Doktorant uczestniczył w zespole, który dokonał wdrożenia opracowanego komputera obsługi zdalnej dla Jednostki Ogniowej Przeciwlotniczych Systemów Rakietowo-Artyleryjskich bliskiego zasięgu PILICA.

Zdobywał doświadczenia organizacyjno-naukowe będąc członkiem komitetu organizacyjnego od 2016 r. w Międzynarodowej Szkole Komputerowego Wspomagania Projektowania, Wytwarzania i Eksploatacji, oraz w Students' International Conference CERC 2022, Panel: Computer Science and Cyber Security.

Za znaczące osiągnięcia w zakresie działalności wdrożeniowej 28 października 2022 r. otrzymał nagrodę zespołową Ministra Obrony Narodowej (wdrożenie PILICA). Ponadto w marcu 2017 r. zdobył II miejsce w nagrodzie zespołowej w III edycji konkursu „Innowacje dla Sił Zbrojnych” organizowanego przez Inspektorat Implementacji Innowacyjnych Technologii Obronnych (I3TO) za pracę pt. „Koncepcja przeciwlotniczej rakiety krótkiego zasięgu”.

Należy podkreślić, że Doktorant jest współautorem siedmiu artykułów, w tym dwóch w czasopiśmie branżowym z listy MEiN „Problems of Mechatronics. Armament, Aviation, Safety Engineering”.

Jego zainteresowania naukowe, to m.in. technika raketowa, informatyka, radioelektronika. Włada dobrze językiem angielskim w mowie i piśmie (STANAG na poziomie 3,2,3,2+ - B2). Język rosyjski zna na poziomie podstawowym w mowie i piśmie.

2. Krótka charakterystyka rozprawy

Rozprawa doktorska pt. „Przetwarzanie sygnałów i danych topograficznych w głowicy samonaprowadzania platformy latającej” została napisana na 115 stronach wraz ze spisem 71 pozycji literatury, z czego 2 są współautorskimi pracami Doktoranta, uporządkowanych w kolejności odwołań; ośmiu *Rozdziałów* – w tym nietypowo jak na rozdziały: *Spisu treści, Streszczenia, Wstępu i Bibliografii*. Brak jest wykazu ważniejszych oznaczeń i skrótów (akronimów, symboli i notacji) oraz rysunków i tabel.

Doktorant sformułował hipotezę rozprawy, która brzmi: *możliwa jest minimalizacja negatywnego wpływu zastosowania filtracji Wienera na dokładność dopasowania obrazów przy obciążonych błędem danych wejściowych do tego procesu.*

Problem rozwiązał wyznaczając sobie 3 zasadnicze cele, tj. a) opracowanie metody kompensacji błędów określania położenia przy niepełnej informacji o głębi obserwowanej sceny przedstawiającej obraz terenu; b) sformułowanie ogólnego modelu opisu wpływu różnych filtrów Wienera na dokładność dopasowania obrazów z zastosowaniem metod statystycznych opartych o cechy lokalne obrazu terenu przy występowaniu efektu rozmycia i c) opracowanie metody minimalizacji negatywnego wpływu filtracji Wienera, bazującej na danych wejściowych obciążonych niepewnością pomiarową, na dokładność dopasowania obrazów.

Doktorant wyznaczył parametry modelu układu optycznego, który skalibrował w taki sposób, aby możliwe było filtrowanie elementów obrazu poprzez odrzucenie tych, których prędkość przemieszczania się na kolejnych obrazach jest większa od prędkości wynikającej z ruchu platformy lecącej nad terenem, powiększonej o określony próg. Model ten zaimplementował w układzie sprzętowym oraz połączył z modelem nawigacji wizualno-bezwładnościowej dostępnym w literaturze.

Dysponując ww. modelem literaturowym oraz danymi źródłowymi z prowadzonych nad nim badań Doktorant przeprowadził własne badanie obrazujące wpływ zakłóceń związanych z ruchem obiektów w obserwowanym środowisku na dokładność określania współrzędnych. Jego własne badanie polegało na wprowadzeniu do obrazu źródłowego zakłócenia w postaci



przemieszczających się po płaszczyźnie obrazu dodatkowych grup pikseli i ponownym przeprowadzeniu procesu nawigacji w oparciu o zmodyfikowane dane wejściowe. Badanie to dowiodło zmniejszenia precyzji nawigacji na skutek wprowadzonego zakłócenia. Następnie sformułował własny model filtracji ww. zakłócenia w postaci rozszerzonego filtru Kalmana. W zaproponowanym modelu filtracja cech obrazu jest możliwa w odniesieniu do ich prędkości w układzie wyznaczanej wirtualnej płaszczyzny terenu. Zastosowanie opracowanego modelu ogranicza wpływ rozpatrywanych zakłóceń.

Ponadto, Doktorant przebadął wpływ ruchu platformy latającej oraz parametrów filtracji Wienera na dokładność określania położenia platformy. Ze względu na możliwy negatywny wpływ procesu filtracji Wienera na dokładność dopasowania obrazów i także na dokładność nawigacji wyznaczono model analityczny tego wpływu przy różnym błędzie oszacowania parametrów wejściowych filtru Wienera. Wyznaczono postać funkcji błędu dopasowania $E(\Delta L$ i $\Delta \theta$) obrazów, której argumentami są błędy oszacowania liczby pikseli rozmycia oraz kierunku rozmycia wynikające z parametrów ruchu platformy określanych w układzie bezwładnościowym. Znajomość rozkładu funkcji $E(\Delta L$ i $\Delta \theta$) błędu dopasowania dwóch obrazów, a także wariancji estymat parametrów wejściowych filtru Wienera umożliwiła opracowanie modelu minimalizacji otrzymywanego błędu dopasowania. Na bazie opracowanego modelu zaproponował algorytm wyznaczania wartości PSF i filtracji rozmycia, tj. rekonstrukcji obrazu, na podstawie danych wejściowych w postaci oszacowanych parametrów wektora prędkości platformy przy znanej (możliwej do wyznaczenia w czasie lotu) niepewności tego oszacowania.

Ostatecznie stwierdzam, że układ i struktura rozprawy są poprawne, a źródła literaturowe są dobrane właściwie i w wystarczającej liczbie. Dokonany jest przegląd literatury, przedstawione są hipoteza, cel i obiekt badań. Naświetlone zostało także uzasadnienie wyboru tematu i określenie jego szerokiej problematyki, obejmującego przeprowadzenie wielu badań i analiz. Przytoczone w przejrzysty sposób wyniki badań występują zarówno w wersji graficznej, jak i tabelarycznej. Na zakończenie rozprawy Doktorant dokonuje podsumowania i wyciąga właściwe wnioski końcowe.

Wybór tematu rozprawy uważam za trafnie dobrany zarówno z teoretyczno-poznawczego, jak i przede wszystkim utylitarne punktu widzenia, jest ponadto aktualny i perspektywiczny.

Warto zaznaczyć, że zarówno opracowane metody jak i uzyskane wyniki cechują się oryginalnością. Ponadto, opiniowaną rozprawę doktorską można umieścić w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.



3. Rozważania dotyczące rozprawy

Za najważniejsze wyniki i dokonania pracy można uznać następujące:

- 1) *Opracowanie metody kompensacji błędów określania położenia przy niepełnej informacji o głębi obserwowanej sceny przedstawiającej obraz terenu. Metoda może być stosowana do nawigacji w terenie względnie płaskim i pozwala na użycie wysokościomierzy, które są zazwyczaj tańsze od radarów i lidarów.*

Nawet punktowa znajomość głębi sceny oraz dostęp do aktualnie estymowanych w układzie wizualno-bezwładnościowym parametrów ruchu obiektu pozwala na filtrację cech obrazowych w odniesieniu do prędkości obserwowanych na aproksymowanej płaszczyźnie obiektów i prędkości samego układu obserwacji. Autorski algorytm oparty jest o rozszerzony filtr Kalmana. Pozwala na estymowanie odległości do terenu z uwzględnieniem możliwości występowania zakłóceń w postaci elementów pokrycia terenowego, które ze względu na swoją wysokość są odrzucane. Uzyskiwana płaszczyzna odniesienia, stanowiąca model terenu, wykorzystywana jest także w procesie odrzucania cech obrazowych przypisanych obiektom poruszającym się w przestrzeni między kamerą, a terenem.

- 2) *Sformułowanie autorskiego modelu opisu wpływu błędów przyjętych parametrów filtru Wienera na jakość dopasowania obrazów. Kryterium oceny jakości stanowi średnia odległość cech na dwóch porównywanych obrazach.*

W sytuacji, gdy obraz rozmyty odwzorowuje ten sam fragment przestrzeni i położenie kamery jest tożsame dla obu obrazów, to wartość ww. odległości w przypadku dopasowania powinna wynosić zero.

Błędy w parametrach filtru Wienera wynikają z niepewności parametrów nawigacyjnych uzyskiwanych z układu inercyjnego. Niepewność ta zwiększa się w czasie lotu.

Opracowany przez Doktoranta model pozwala na analizę ww. zagadnienia dla różnych niepewności oszacowania parametrów nawigacyjnych (błąd kąta kursu, błąd modułu prędkości) oraz różnych wartości rozmycia pierwotnego. Błąd modułu prędkości wpływa na wartość estymowanej liczby pikseli podlegającej rozmyciu. Błąd kursu wpływa na kierunek rozmycia.

- 3) *Opracowanie metody minimalizacji negatywnego wpływu ww. błędów na jakość dopasowania obrazów. Zwiększanie dokładności dopasowania obrazów pozwala na zwiększenie precyzji korekt nawigacyjnych. Autorska metoda pozwala w procesie iteracyjnym na wyznaczenie najkorzystniejszych parametrów filtru Wienera przy dostępnej informacji o wariancji danych wejściowych.*

Ze względu na asymetrię wyznaczonej w pracy charakterystyki błędu dopasowania dla różnych wartości argumentów ΔL i $\Delta\theta$ możliwe jest dostosowanie parametrów PSF filtru Wienera korygującego efekt rozmycia do aktualnej niepewności oszacowania parametrów wektora prędkości platformy uzyskiwanej z układu bezwładnościowego. Niepewność oszacowania można przewidywać na podstawie not katalogowych wykorzystywanych czujników. Jednym z typowych parametrów, które opisują takie czujniki jest tzw. „dryf błędu” w czasie. Dzięki zaproponowanemu rozwiązaniu (modelowi optymalizacji) przyszli inżynierowie mogą wykorzystywać filtr Wienera dla szerszego zakresu niepewności, przy kontrolowanym poziomie błędu dopasowania obrazów.

Należy stwierdzić, że ze względu na ograniczone możliwości organizacyjne realizacji przedstawionych badań w warunkach rzeczywistych w pracy wielokrotnie Doktorant wspomagał się badaniami symulacyjnymi. Wyniki tych badań odnosił do dostępnych przypadków zarejestrowanych podczas badań w warunkach rzeczywistych. W ten sposób uzyskał możliwość formułowania uogólnionych wniosków dotyczących rozpatrywanych problemów badawczych. Stosując badania symulacyjne opierał się o zweryfikowane modele rozmycia dostępne w literaturze. Trudność organizacyjną w realizacji badań rzeczywistych stanowiło przede wszystkim osiągnięcie przez platformę zakładanej prędkości przelotu wynoszącej setki metrów na sekundę, przy jednocześnie niskim przelocie na wysokości kilkudziesięciu metrów.

Filtr Wienera bazujący na stałych wartościach funkcji PSF został zaimplementowany na platformie sprzętowej stanowiącej tło realizacji pracy. Uzyskane wyniki pracy w postaci metody modelu optymalizacji wartości funkcji PSF dla ewoluujących w czasie (ulegających degradacji) niepewności oszacowania parametrów wektora prędkości mogą być zastosowane na platformie rzeczywistej bez ograniczania obecnych funkcjonalności. Szkoda, że jednak obecnie nie zostało to jeszcze zrealizowane.

Opracowana przez Doktoranta metoda optymalizacji wartości PSF zakładała stały stosunek sygnału do szumu. Istnieje potrzeba rozszerzenia opracowanego modelu uwzględniającego zmiany tego stosunku. Rozszerzenie to pozwoli bowiem na adaptację modelu do zmiennych warunków oświetlenia terenu. W ten sposób wpływ proponowanej zmiany na opracowany model wymaga dalszych badań.

Zastosowane w pracy modele nawigacji wymagają przyszłych testów w układzie sprzężenia zwrotnego z platformą latającą realizującą zakładany proces samonaprowadzania. Obecnie układ nawigacji działał niezależnie od układu sterowania platformą pracującego na bazie GPS oraz niezależnego układu bezwładnościowego. Pozwoliło to na zweryfikowanie dokładności określania parametrów nawigacyjnych. Samonaprowadzanie w oparciu o proponowany



układ wymaga dalszych badań oraz integracji z układami sterowania i stabilizacji lotu dla konkretnych platform o określonej dynamice.

4. Uwagi ogólne i szczegółowe dotyczące rozprawy

Moje uwagi i spostrzeżenia natury ogólnej do rozprawy są następujące:

1. W tytule rozprawy jest mowa o głowicy samonaprowadzającej platformy latającej, podczas gdy w samej pracy nie ma żadnego przykładu jej zastosowania. Proponuję, aby krótko to przedstawić podczas obrony pracy doktorskiej.
2. Filtracja Wienera jest znana od lat 40. i bardzo dobrze wystudiuwana. Jej zadaniem jest minimalizacja błędu średniokwadratowego.
3. Brakuje wykorzystania i zastosowania do analizy obrazu uczenia maszynowego, spłotowych sieci neuronowych. Można zatem to przyjąć jako kierunek dalszych badań.
4. Metody SURP, SHIFT są powszechnie znane, podręcznikowe, niepotrzebnie więc jest tak dużo poświęconych im opisów – można było się odwołać do odpowiednich źródeł.
5. Wzór (20) – metryka Heminga – po co ją przedstawiać, skoro nie jest potem już wykorzystywana? Str. 64 „wpływ intensywności rozmycia obrazu...”. Rozmycia obrazu mogą być nieistotne. Różne piksele mają różną ważność. Dlaczego uśrednieniu podane zostało rozmycie obrazu?
6. Należało bardziej uwydatnić innowacyjność pracy, skonkretyzować jej wymierne efekty.
7. Z jakiego powodu Doktorant sformułował hipotezę, a nie tezę rozprawy? Czy potraktował te pojęcia zamiennie? Ponadto, te tak ważne aspekty rozprawy nie są edytorsko wyeksponowane.
8. Wydaje się być właściwszym uprzednie dokonanie przeglądu literatury, po czym powinno nastąpić uzasadnienie wyboru tematu rozprawy oraz zostać przedstawione: cel, teza i obiekt badań oraz opis problemu badawczego.
9. Nie ma porównania wyników własnych badań z tymi, które już zostały otrzymane w tym zakresie przez innych badaczy.
10. Na str. 109 Doktorant pisze, że „przypadki te potwierdzają możliwość optymalizacji parametrów filtru Wienera...”. Czy jest to możliwe, biorąc pod uwagę fakt, że sam filtr Wienera już minimalizuje błąd średniokwadratowy?
11. Wyraźnie brakuje *podsumowania* najważniejszego rozdziału 6.
12. Ostatni rozdział *Podsumowanie* powinien być nazwany *Podsumowanie i wnioski końcowe*.

13. Pewnym mankamentem rozprawy jest brak wykazu ważniejszych oznaczeń i skrótów (akronimów, symboli i notacji) oraz rysunków i tabel. Na przykład szczególnie dotkliwie może to Czytelnik odczuć analizując rys. 4.1.1.
14. Brak odwołania do źródła pod rys. 4.1.1.
15. Nietypowo i zapewne niewłaściwie – *Streszczenie*, *Wstęp* i przede wszystkim *Bibliografia* – są rozdziałami rozprawy.

Uwagi szczegółowe (usterki redakcyjne, nazewnicze i stylistyczne):

- ✓ W rozprawie we wszystkich opisach wykresów i tabel miana i jednostki podawane są w nawiasach okrągłych, dokładnie tak samo, jak i argumenty wszelkich funkcji. Zapewne powinno to być odróżnione, gdyż może być przyczyną nieporozumień.
- ✓ Co to jest macierz „Forbeniusa” str. 10¹³?
- ✓ Mieszanie we wzorach notacji matematycznej z notacją pseudokodu np. zamiast tg, jest „tan”, czy też arctg, jest „atan⁻¹”, itp.
- ✓ Niepotrzebnie przy odwoływaniu się do rysunków, Doktorant wielokrotnie pisze podwójnie *na rysunku Rys.*
- ✓ We wzorze (22) nie wyjaśniona jest wielkość „d”.
- ✓ O jaką transformację *W* chodzi we wzorze (25)?
- ✓ Na str. 17² zdanie: *Wyznaczenie transformacji realizowane jest w procesie stochastycznym...* stylistycznie jest niezrozumiałe, wg mnie nielogiczne i chyba niefortunnie sformułowane – o jaki „proces” chodzi?
- ✓ Jak należy rozumieć sformułowanie pod wzorem (29): *„parametrem wiążącym dokładność pomiaru zależnym od częstotliwości próbkowania jest pasmowa gęstość szumowa...”*. Nie zdefiniowane jest przede wszystkim pojęcie „pasmowa gęstość szumowa”.
- ✓ Jak rozumieć wyrażenie na str. 54₉ $200(1.6968e - 4)^2$? Czyżby pomieszanie notacji matematycznej z programistyczną?
- ✓ We wzorze (121) nie wyjaśnione są wielkości: v_1 , v_2 , v_3 , v_4 .
- ✓ Podpis pod rys. 6.2.7, czy też tab. 6.2.1 – co oznacza „...połogi...”? (zapewne podłogi?).
- ✓ Niewłaściwe użycie słów:
 - „posiadać” – zamiast – „mieć” (np. str. 4₁₂, str. 29⁵, str. 32₇, str. 43⁵, str. 43⁶, str. 43₇, str. 55¹⁵, str. 57¹, 59₄, 61⁴, 64₁, 72¹, 81¹³);
 - „określić” – zamiast – „wyznaczyć” (np. str. 3¹⁷, str. 13¹⁰, str. 18¹⁴, str. 54¹, str. 68₁, str. 68₃, 102₄ itd.);



„ilość” – zamiast – „liczba” (np. str. 11₁₃, str. 14⁷, str. 19¹, str. 48⁶, str. 66⁶, str. 70⁶); „wyliczanie” – zamiast – „obliczanie” (np. str. 15¹¹, str. 25₄, str. 30₆, str. 67₃, str. 68₄, str. 67₆, str. 107₇);

„wielkość” – zamiast – „wartość” (np. str. 12², str. 63₄, str. 66³, str. 69₄, str. 72₁₄, str. 82₆).

- ✓ W dużej liczbie wzorów znaki przecinka widnieją na początku zdania przed słowem „gdzie”, np. wz. (21), 25 itd.
- ✓ W zdaniu na str. 41₄ dwukrotnie występuje słowo „odchylenie” – które jest właściwe? (jedno z nich powinno być chyba *przechylenie*?)
- ✓ Na str. 42³ jest „*tabla*” powinno być tabela.
- ✓ Na str. 42⁵ dwukrotnie występuje „*Rys. 6..11*”.
- ✓ Na str. 44₁₀ *50 50 (m)*?
- ✓ Na str. 46₅ „*opowiadającymi*”?
- ✓ Na str. 54₁ „*pasywnymi*”?
- ✓ Na str. 67¹² „*[[64]*”?
- ✓ Na str. 77³ jest napisane „*w stopniach*” powinno być napisane „w stopniach kątowych”.
- ✓ Na str. 79₁₁ jest napisane „*wartości średni*”?
- ✓ Na str. 79₅ jest napisane „*pod różnym kątam*” powinno być napisane „pod różnymi kątami”.
- ✓ Na str. 81₁₃ „*zdecydowano no nałożenie*”?
- ✓ Na str. 89₄ „*10 błąd wyniesie*”?
- ✓ Na str. 89₂ jest napisane „*wraz funkcją*” powinno być napisane „wraz z funkcją”.
- ✓ Na str. 92₇ „*Jest*” powinno być „*jest*”.

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

5. Podsumowanie

Należy jeszcze raz podkreślić, że tematyka rozprawy jest bardzo ważna, aktualna i perspektywiczna. Praca ma charakter interdyscyplinarny. Doktorant wykazał się dużymi umiejętnościami badawczymi i doświadczeniem w prowadzeniu pracy naukowej oraz modelowaniu układów dynamicznych, programowaniu i prowadzeniu złożonych eksperymentów symulacyjnych. Kierunkami dalszych badań powinny być zastosowania metod uczenia maszynowego



i sztucznej inteligencji do samonaprowadzania obiektów latających, takich jak: pociski rakietowe, czy też bomby szybujące z układami wizyjno-bezwładnościowymi.

Podsumowując rozprawę mogę stwierdzić, że postawiony w niej cel został osiągnięty. Zagadnienie naukowe, którego rozwiązania podjął się Doktorant zostało zbadane dosyć wnikliwie i możliwie 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. Piotra Turka oceniam **wysoko**, gdyż przedstawia oryginalne własne osiągnięcie naukowe. Ma ona duże walory poznawcze i potencjał użyteczny. Praca świadczy o bardzo dobrym przygotowaniu merytorycznym Autora. Doktorant bowiem wykazał się nie tylko obszerną wiedzą z mechatroniki, modelowania, programowania oraz metod symulacyjnych i eksperymentalnych, ale również dużą dojrzałość naukową w formułowaniu zagadnień, realizacji rozwiązań i wyciągania właściwych wniosków. Stanowi to podstawę do stwierdzenia, że mgr inż. Piotr Turek ma bardzo dobre przygotowanie teoretyczne i warsztatowe do twórczej pracy naukowej.

W podsumowaniu stwierdzam, że niniejsza rozprawa **spełnia wszystkie wymagania** stawiane pracom doktorskim przez aktualnie obowiązującą Ustawę o tytule i stopniach naukowych i dlatego zasługuje na dopuszczenie jej do publicznej obrony.

