

prof. dr hab. inż. Zdzisław Kowalczuk  
profesor zwyczajny  
Katedra Systemów Decyzyjnych i Robotyki  
Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki  
Politechnika Gdańska  
ul. Narutowicza 11/12  
80-233 Gdańsk

25 kwietnia 2023

WPŁYNEŁO  
2022 -05- 11

dn.....

---

**RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ  
DLA RADY NAUKOWEJ DYSCYPLINY  
AUTOMATYKA, ELEKTRONIKA, ELEKTROTECHNIKA  
I TECHNOLOGIE KOSMICZNE  
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ**

Tytuł rozprawy: **„Zaawansowane modelowanie oraz algorytmy sterowania lotem drona typu quadplane”**  
Autor rozprawy: **mgr Michał Okulski**  
Promotor: **prof. dr hab. inż. Maciej Ławryńczuk**

---

1. **Jakie zagadnienie naukowe jest rozpatrywane w pracy (teza rozprawy) i czy zostało ono dostatecznie jasno sformułowane przez autora? Jaki charakter ma rozprawa (teoretyczny, doświadczalny, inny)?**

Specyficzna problematyka badawcza recenzowanej rozprawy, która w dużej mierze spełnia też kryteria doktoratu wdrożeniowego, obejmuje szereg podstawowych aspektów związanych z tematyką projektowania zaawansowanych systemów sterowania aparatami powietrznymi typu *dron*. Pojazdy takie mają szerokie zastosowania cywilne (urzędowe, naukowe, przemysłowe, rolnicze, sportowe, artystyczne i rozrywkowe) oraz w służbach bezpieczeństwa (ratownictwo, policja, wojsko). Dlatego są obiektem zainteresowań naukowo-technicznych na całym świecie, dla których inspiracji poszukuje się zarówno w przyrodzie, jak i w sprawdzonych konstrukcjach technicznych (samoloty, śmigłowce i śmigłowce).

Z punktu widzenia naukowo-technicznego recenzowana rozprawa doktorska dotyczy opracowania kompleksowej metodyki i praktycznego systemu sterowania bezzałogowym statkiem powietrznym. Obejmuje ona autorski projekt elektromechanicznej konstrukcji drona „*Tandem-wing Quadplane*”, modelowanie i identyfikację jego parametrów i estymację zmiennych oraz opracowanie odpowiedniego układu sterowania. Pracę cechuje wysoki poziom naukowy, wykorzystanie zaawansowanych osiągnięć (elementy IMU, filtr Kalmana, sterowanie predykcyjne, sztuczne sieci neuronowe, etc.) oraz ich wdrożenie na przykładzie wielowirnikowego aparatu latającego (*ElkaIQ*). Jest to zatem ambitne, konkretne małoskalowe dzieło w zdefiniowanym zakresie Automatyki i Robotyki w ramach dyscypliny naukowej AEEiTK, w którym znalazły odpowiedź postawione przed rozprawą tezy.



Recenzowana rozprawa przedstawia dość specyficzną, konstruktywną pracę, nietypową dla doktoratów niewdrożeniowych. Warto zauważyć, że doktoraty wdrożeniowe wiązane są z odbiorcą z otoczenia społeczno-gospodarczego i że brak jest jasnych praktycznych wskazówek, jak takie prace powinny być kwalifikowane i jaki poziom naukowy powinny prezentować (oprócz końcowej realizacji praktycznego celu). Należy jednak w tym miejscu podkreślić, że doktorant Michał Okulski w ramach swojej praktycznej działalności naukowej uzyskał także szereg cennych wyników teoretycznych, które wykorzystał do budowy zamierzonego prototypu drona.

Dzieło to zostało odpowiednio przedstawione wraz z adekwatną dokumentacją projektową, zgodnie z teorią oraz praktyką prac badawczo-rozwojowych, które zaowocowały kompletną realizacją opracowanej koncepcji latania bezzałogowego.

Specjalnym zadaniem doktoranta było dostarczenie funkcjonalnego modelu drona (prototypu przemysłowego), który miałby posiadać jednocześnie zalety drona wielowirnikowego (VTOL – z pionowym startem i lądowaniem, zwrotnością i zawisem) oraz zasięg i ekonomiczność samolotu (*fixed wing*).

Zgodnie z dobrą praktyką i doświadczeniem naukowo-technicznym, na poszczególnych etapach projektowania autor stosuje walidację proponowanych rozwiązań, przy czym najtrudniejsza część związana była z konstrukcją drona oraz identyfikacją jego dynamiki (co znalazło swoje odbicie widocznym 66% zdominowaniu tej tematyki w raporcie).

Postęp technologiczny w zakresie fizyki, elektroniki, mechatroniki oraz technik komputerowych i programistycznych, oraz pojawiające się nowe technologie wykorzystywane w konstrukcji coraz doskonalszych urządzeń, aparatów i systemów sterowania, stanowią zachętę do poszukiwania nowych konstrukcji dronów. Zaawansowany stan techniki stanowi oczywiście niemałe wyzwanie warsztatowo-badawcze dla inżynierów i naukowców poszukujących innowacji w tym zakresie.

W dysertacji doktorant proponuje zatem specjalistyczne sprzętowe i matematyczno-algorytmiczne oraz programistyczne rozwiązanie postawionego problemu oparte na adekwatnej wiedzy z zakresu mechaniki, elektroniki, systemów sterowania, cyfrowego przetwarzania i filtracji sygnałów oraz technicznych charakterystyk różnego rodzaju układów wykorzystywanych w budowie dronów.

Istotność zagadnienia, wynikająca ze wspomnianego powyżej zapotrzebowania na usługi oparte na aparatach latających, jest bezsprzeczna i stanowi wystarczające uzasadnienie celowości obranego specyficznego tematu podjętego w tej rozprawie, tj. opracowania własnej konstrukcji drona – bezzałogowego aparatu powietrznego (UAS – *Unmanned Aerial Systems* czy UAV – *Unmanned Aerial Vehicles*, lub innych pochodnych IAV – *Intelligent Autonomous Vehicles* czy GVM – *Guided Vehicles & Missiles*), posługując się adekwatną wiedzą i teoriami, zwłaszcza w zakresie modelowania i przetwarzania sygnałów oraz sterowania procesami dynamicznymi.

Za główny cel rozprawy doktorant Michał Okulski przyjął opracowanie nowatorskiego projektu UAS/UAV ze wszystkimi niezbędnymi szczegółami, które są wymagane na poszczególnych etapach rozwoju takich obiektów. Autor przedstawił należyte wprowadzenie do tematyki pokazując istotność optymalizacji konstrukcji mechanicznej oraz rolę matematycznego modelowania (ANN) i identyfikacji dynamiki drona, jak również zagadnień pomiarowych (IMU) oraz metodologii sterowania (MPC/GPC).

Wobec powyższego formalna, trój etapowa teza pracy przedstawiona na stronach 6-7 a odnosząca się do różnych możliwości projektowych została wyrażona wystarczająco jasno. W świetle badań naukowych oraz znanych wyników teoretycznych i praktycznych teza ta wydaje się być w pełni uzasadniona, aktualna i

ważna praktycznie. Formułowanie tez dysertacji nie jest zadaniem trywialnym. W poszczególnych częściach (konstrukcja, modelowanie oraz sterowanie) autor zastosował rozwlekłe twierdzenia, a przez to niezbyt zgrabne. Wydaje się, że ich zamierzony niekontrowersyjny charakter psuje zapatrzenie się autora w już uzyskane wyniki oraz posługiwanie się niezdefiniowanymi pojęciami („skuteczności modeli” i „stopnia agresywności sterowania” oraz „opracowanej modyfikacji”).

Biorąc pod uwagę inżynierskie, przemysłowe i użytkowe znaczenie rozważanej problematyki projektowania specjalistycznych bezzałogowych statków powietrznych (UAV), temat pracy doktorskiej Pana Michała Okulskiego niewątpliwie należy uznać za ważny technologicznie, naukowo i społecznie.

**2. Czy w rozprawie przeprowadzono analizę źródeł we właściwy sposób (w tym literatury światowej, stanu wiedzy i zastosowań w przemyśle), świadcząco o dostatecznej wiedzy autora? Czy wnioski z przeglądu źródeł sformułowano w sposób jasny i przekonujący?**

Zakres i cel rozprawy jest jasny. Autor rozprawy posłużył się bardzo krótkim wprowadzeniem do pracy skupionym na części mechanicznej opracowanego projektu. Analizę wprowadzającą czytelnika w całość tematyki znajdujemy także w drugiej części raportu (Motywacja). Należy jednak tu również uwzględnić pełniejsze wprowadzenia pokazane we wstępnych partiach do poszczególnych czterech oryginalnych publikacji, na których oparta jest rozprawa. Tam należy szukać elementów głębszego wprowadzenia w tematykę projektowania aparatów UAV wraz z jasnymi i konkretnymi wnioskami silnie wpływającymi na rozwijane kierunki badań i budowy prototypu drona. Wobec powyższego należy stwierdzić, że doktorant przeprowadził ogólnie poprawną analizę źródeł literatury światowej w zakresie wyników naukowych w przedmiotowej dziedzinie, a zebrany materiał przeglądowy i publikacyjny dobrze świadczy o wiedzy dziedzinowej, jaką opanował doktorant.

Na podstawie tej wiedzy oraz własnych przemyśleń doktorant dał należyte wprowadzenie oraz dobrze określił podjętą przez siebie tematykę, podał motywację (tezy i cele badawcze), pokazał zakres pracy i wymienił założenia, jak również przedstawił ważniejsze elementy proponowanych rozwiązań.

Poza drobnymi potknięciami wnioski wyciągane ze źródeł bibliograficznych nie budzą większych zastrzeżeń. W części dotyczącej modyfikacji algorytmu GPC i wprowadzania do niego sprytnych elementów antycypacyjnych autor nie zauważył prac z tego zakresu, które ukazały się we (wszak nielicznych) czasopismach krajowych z listy JCR. Generalnie jednak sposób wykorzystania cytowanych pozycji literatury w rozprawie jest prawidłowy.

W części podstawowej raportu-rozprawy liczącej 44 strony, merytoryczne rozdziały dysertacji zajmują 29 stron, zaś raportowany spis bibliograficzny obejmuje 85 pozycji, wraz z 5 współautorskimi pozycjami, w tym trzema nowo opublikowanymi artykułami w czasopismach MDPI (*Energies* oraz *Applied Science*, 2022) i IEEE (*IEEE Access*, 2021).

Koncepcje oryginalnych rozwiązań najlepiej dokumentują owe załączone cztery publikacje międzynarodowe, w których dobrze ukazano miejsce i rolę prac własnych.

**3. Czy autor rozwiązał postawione zadania, czy użył właściwej do tego metody, oraz czy przyjęte założenia są uzasadnione?**

W ramach rozważanego zagadnienia projektowego (analizy i syntezy) dotyczącego budowy bezzałogowego pojazdu powietrznego, Autor postawił sobie główne zadanie polegające na opracowaniu autorskiej koncepcji UAV oraz rzeczywistej konstrukcji, oprogramowaniu, uruchomieniu i przetestowaniu powstałego drona typu „*Tandem-Wing QuadPlane*” (*quadrokopto-samolotu ze śmigłem tylnym/pchającym*) o nazwie ElkaIQ oraz zgodnie z przyjętymi założeniami zrealizował kompleks czynności projektowych związanych z tym zadaniem, a w szczególności: (1) opracował konstrukcję mechaniczną, (2) zbudował jednostkę IMU zaopatrzoną w fuzję danych opartą na Filtrze Kalmana, (3) przeprowadził identyfikację dynamiki drona za pomocą sieci neuronowych, ze szczególną wagą poświęconą modelowi „*Feature-Sequence-to-Sequence*”, w środowisku laboratoryjnym, (4) zaimplementował sterowanie predykcyjne z modyfikacją nazwaną „*Trajectory Guessing*” oraz (5) przeprowadził końcowe eksperymenty testujące aparat latający.

Recenzent uzyskał dominujące wrażenie zastosowania należycie dobranych osiągnięć nauki, technologii i zasad inżynierii oraz inwencji własnej. Na podstawie szczegółowej lektury rozprawy można uznać, iż jej autor rozwiązał postawione zadanie – wykazując się przy tym: znajomością analizowanego problemu konstrukcyjnego, opanowaniem materiału teoretycznego i technicznego, bardzo dobrze rozwiniętym warsztatem naukowo-technicznym, umiejętnością doboru założeń badawczych, definiowania kierunków badań, projektowania i implementacji układów elektro-mechanicznych, formułowania wniosków, i rozwiązywania pośrednich zadań teoretycznych i praktycznych, jak również opanowaniem środowiska informatycznego i biegłością w implementacji algorytmów oraz umiejętnością weryfikacji osiągniętych rezultatów w warunkach laboratoryjnych i rzeczywistych.

Na wysokim poziomie ogólności, z metodologicznego punktu widzenia, analiza problemu i zastosowanie tylnego/pchającego zespołu napędowego nadającego pojazdowi ciąg do przodu nie jest zadowalająca. Jak wiadomo, tylny napęd w pojazdach pozwala na osiąganie większych prędkości, ale jest też źródłem nadsterowności i problemów ze stabilnością, których również autor doświadczył w trakcie własnych eksperymentów. Tak newralgiczna kwestia powinna być bardziej wnikliwie przeanalizowana teoretycznie oraz zweryfikowana w drodze symulacji na samym początku przedmiotowych badań.

**4. Na czym polega oryginalność rozprawy, co stanowi samodzielny i oryginalny dorobek autora, jaka jest pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy czy poziomu techniki reprezentowanych przez literaturę światową?**

Do licznych dowodów kwalifikacji naukowych i inżynieryjno-społecznych posiadanych przez doktoranta, pozwalających na jego indywidualną i zespołową pracę naukową, dochodzi opanowanie przez niego warstwy merytorycznej w zakresie podstaw teoretycznych i praktycznych omawianej problematyki aparatów/robotów powietrznych i metod sterowania nimi, a także umiejętności na polu projektowania urządzeń elektro-mechanicznych, implementacji komputerowych systemów sterowania oraz badań eksperymentalnych.

Można zatem stwierdzić, że zgodnie z postawioną tezą i zamierzonymi celami badawczymi rozprawy doktorskiej jej autor osiągnął kilka głównych i oryginalnych rezultatów, które można określić pisząc jako:

- 4.1. kompletny projekt, wykonanie, oprogramowanie, strojenie, oblatanie i analiza osiągnięć lotniczych drona ElkaIQ,
- 4.2. opracowanie systemu pomiarowego IMU z kalmanowską fuzją danych,
- 4.3. studium dynamiki drona, które zaowocowało opracowaniem rekurencyjnego modelu neuronowego (FS2S), inicjalizowanego zmierzonym stanem obiektu,
- 4.4. identyfikacja symulacyjnego modelu drona (opracowywanego dla regulatora GPC),
- 4.5. wprowadzenie do GPC usprawnienia, nazwanego „Trajectory Guessing”, zwiększającego zwrotność drona,
- 4.6. analiza wydajności energetycznej w trybie manewrowym.

Wymiernym wynikiem prac jest prototyp drona ElkaIQ, o konstrukcji „*Tandem-Wing QuadPlane*”, gotowego do operacji typu „VTOL” i „zawis” (ok. 20 min) oraz do szybkiego przemieszczania się (z prędkością liniową 144 km/h) w zasięgu ok. 25 km. Warto zauważyć, że opracowana konstrukcja drona posiada parametry znacznie lepsze od typowych dronów wielowirnikowych (typu „*multicopter*”).

Z zaprezentowanego raportu-rozprawy z publikacyjnymi załącznikami wynika duża prawność, skuteczność i zaangażowanie doktoranta w prowadzenie innowacyjnych prac badawczo-projektowych uwzględniających elementy teoretyczne i praktyczne narzędzia inżynierskie do modelowania i budowy aparatów i robotów latających.

Uwzględniając wyżej wymienione oryginalne prace naukowo-badawcze oraz fakt ich zaistnienia w publikatorach specjalistycznych dla automatyki, elektroniki i elektrotechniki (Springer 2018/2020, IEEE/MMAR 2018/2019), a przede wszystkim w czasopiśmie IEEE: *IEEE Access* (2021) oraz MDPI: *Energies* (2022) i *Applied Science* (2022), uważam, że mgr inż. Michał Okulski dowiódł postawionej tezy i zrealizował cel rozprawy oraz wykazał się wiedzą i umiejętnością rozwiązywania zagadnień naukowych w zakresie projektowania zaawansowanych systemów mechatronicznych w postaci bezzałogowych pojazdów powietrznych.

**5. Czy autor wykazał umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników (zwięzłość, jasność, poprawność redakcyjna rozprawy)?**

Po podaniu głównego zadania konstrukcyjnego i tezy pracy doktorant przedstawia zakres zamierzonych prac badawczych oraz skrótowe, 28-stronicowe podsumowanie własnego dorobku, zawartego głównie w wydanych publikacjach (niestety bez przewodnika po poszczególnych pracach).

W swojej istocie zaprezentowana rozprawa koncentruje się na osiągnięciu celu konstrukcyjnego i użytkowego w oparciu o dostępne technologie i własne techniki sprzętowe, algorytmiczne i programistyczne (części 4 i 5) i przyczynki teoretyczne w zakresie modelowania, identyfikacji i sterowania (części 5, 6 i 7) oraz studium końcowych eksperymentów (część 8), przy czym doświadczenia praktyczne odnosiły się również do poszczególnych elementów projektu (opisanych w częściach 4-7).

Całość raportu-dysertacji, przygotowanego w języku polskim, daje ogólnie wrażenie solidnie skomponowanej pracy, która wiarygodnie dokumentuje wkład doktoranta i uzyskane przez niego wyniki. Spis literatury został dobrze opracowany.

Na podstawie lektury rozprawy można powiedzieć, że doktorant posiadał należyłą umiejętność korzystania z teorii zaczerpniętych z literatury oraz kreowania własnych koncepcji, jak również dostateczną zdolność zwięzłego i – w przeważającej mierze – jasnego przedstawiania uzyskanych wyników.

Autor wyraźnie przedstawia główne zamierzenia projektu. Pewne wątpliwości wzbudza strukturalne rozwiązanie samej rozprawy, związane z dysproporcją zachodzącą pomiędzy częściami; zagadnienia mechaniki i identyfikacji stanowią 2/3 tekstu, zaś pozostałe części (kwestie IMU, GPC i eksperymentów obejmują ledwie po 2-3 strony).

Zwykle wiadomo, gdzie znajduje się udział własny, choć np. wprowadzenie jest nazbyt rozproszone a rozdziały nie posiadają należytego podsumowania. Nie zawsze też wiadomo co zostało zrobione i dlaczego (np. w częściach 5, 6 i 7), co jest niezrozumiałe, gdyż materiał był uprzednio przemyślany i opublikowany.

W tym kontekście dysertacji można zarzucić nierówny poziom prezentacji: część mechaniczna została potraktowana ze względnie nadmierną pieczołowitością (tak jakby rozprawa dotyczyła mechaniki), a część poświęcona automatycznemu sterowaniu – nieco zaniedbana. Dotyczy to zwłaszcza części związanych z proponowanymi innowacjami teoretycznymi (modelowanie neuronowe i antycypacyjne). Zatem owe fragmenty (6 i 7) można wskazać jako przykład niedopracowanego przekazu, który nie jest wystarczająco komunikatywny, nie przekazuje przejrzystość/jasno najważniejszej treści, jest nietrafiony, zbyt pobieżny, cząstkowy, niejasny lub nieprecyzyjny i nie odzwierciedla należycie najważniejszej nowatorskiej myśli wprowadzonej przez autora. Zwykle oczekuje się tu jasnego postawienia problemu, przeglądu zastosowanych rozwiązań i ich braków oraz wskazania właściwie umotywowanej innowacji.

Czytelnik odczuwa także brak spisu treści załącznikowej i/lub przewodnika po poszczególnych pracach tam umieszczonych (lub wskazaniu najważniejszych osiągnięć wyróżniających te prace).

Techniczny język używany w raporcie jest ogólnie zrozumiały, ale nie zawsze jasny, czasem slangowy i skrótowy, ze słabo wprowadzonymi ideami projektowymi lub szczegółami (metodą zstępującą/*top-down* albo wstępującą/*bottom-up*).

Generalnie jednak omawiana rozprawa doktorska – o silnym charakterze wdrożeniowym, dotycząca nowatorskiej dziedziny bezzałogowych statków powietrznych i zawierająca ciekawe przyczynki teoretyczne – prezentuje się bardzo dobrze (w porównaniu z innymi rozprawami tego typu), zwłaszcza jeśli uwzględni się głęboki zakres merytoryczny i wielodyscyplinarny charakter tej rozprawy.

## **6. Jakie są słabe strony rozprawy i jej główne wady?**

Niektóre słabe aspekty rozprawy o charakterze ogólnym zostały już wskazane powyżej. Tę krytykę można dodatkowo rozszerzyć o kilka uwag.

W głównym nurcie pracy mieszczą się modele matematyczne, z którymi związane jest podstawowe pojęcie wierności. W tym kontekście brakuje odwołania do powszechnie znanych w modelowaniu matematycznym poziomów wierności: replikatywnej, predykcyjnej i strukturalnej, zwłaszcza, że autor zajmuje się predykcyjnym sterowaniem. Zwróciłbym również uwagę na subtelne i narzędziowe rozróżnianie pomiędzy pojęciami takimi jak: system, układ, model, oraz algorytm.

Oprócz innych wskazanych braków dotyczących niemechanicznej części rozprawy oraz biorąc pod uwagę popularność tematu MPC/GPC/CGPC... sprzed dwóch dekad, przy wprowadzaniu i omawianiu metody „zgadywania trajektorii”, autor niestety nie odniósł się np. do publikacji z lat 1995-2002 (IFAC, MMAR, AMCS, CAC...) dotyczących filtracji antycypacyjnej i szybkościowej metody wspomagających projektowanie uogólnionego sterowania predykcyjnego w czasie dyskretnym i ciągłym.

Poza pierwszym rozdziałem (ogólnym wprowadzeniem), pozostałe merytoryczne rozdziały nie mają podsumowania. Tu można podać wskazówkę, aby doktorant popracował nad umiejętnością właściwej strukturalizacji tekstu, uogólniania oraz jasnego przedstawiania wniosków końcowych.

Dysertacja została ogólnie bardzo dobrze zredagowana w swoim obszernym abstrakcie-rozprawie. Treści podawane są z użyciem dobrej polszczyzny, bez licznych błędów edytorskich (typowych dla pośpiesznie pisanych rozpraw). Praca mocno została posadowiona na załączniku w postaci zestawu własnych publikacji, który jednak nie posiada żadnego przewodnika lub przynajmniej spisu treści.

Przejrzystość przekazu poprawiłby również lepszy dobór struktury całości tekstu: np. przez wprowadzenie alfabetycznego wykazu terminów, akronimów, symboli i operatorów (zamiast bezużytecznego spisu rysunków i tablic).

Do drobnych wad edytorskich zaliczyć należy wcinanie pierwszego po tytule akapitu (reprezentującego zawsze nową myśl) oraz niepotrzebne przerywanie w taki sposób akapitów zawierających wzór matematyczny, czy też nadmiernie używanie pierwszej osoby liczby pojedynczej, frazeologizmów i zwrotów slangowych lub kuchennych (np. „w sumie testowałem”, „oblatałem drona”, ...etc.), albo innych niezgrabności lub nieprecyzyjności („znajomość obiektu”, „gama modeli”, „modele oparte o sieć”, „cały szereg”, „poprawić rolę odczytu”, „bazować na”, „najlepsza charakterystyka pracy...”).

Inne błędy redakcyjne (ze świadomym pominięciem angielskiego streszczenia dysertacji, jak również tekstu załączonych artykułów opublikowanych przed rozprawą) to nagminne potknięcia interpunkcyjne, gramatyczne lub składniowe („ilość neuronów, sygnałów, mnożeń, modeli, ...”).

Można też wytknąć błąd terminologiczny: W literaturze anglojęzycznej ułożenie (ang. *pose/attitude*) rozpisuje się na trójkę (*bank/sway/roll*, *yaw/wake*, *pitch/dive*), co w języku polskim (w konwencji morskiej, lotniczej, robotycznej – cywilnej lub militarnej) ma odpowiedniki w postaci trójki (przechylenie/kołysanie/obracanie, odchylenie/myszkowanie/zbaczenie, pochylenie/nachylenie/nurkowanie). Tymczasem autor używa terminu „przechył”/”przechylenie” jako odpowiednika angielskiego „pitch” – zamiast poprawnie mówić o „nachyleniu” lub „pochyleniu” (jak wyjątkowo dobrze napisał na str. 35). Prawdopodobnie opracowanie przez doktoranta porządnego słownika terminologicznego pomogłoby mu w lepszym doborze takich słów kluczowych.

Oczekując dalszego rozwoju doktoranta, przekazuję powyższe szczegółowe uwagi, które mam nadzieję przyczynią się do uzyskania wyższej jakości raportów i prezentacji na forach krajowych i międzynarodowych oraz w podoktorskich pracach naukowych i dydaktycznych. Wychodząc z aktualnie już wysokiego poziomu, doktorant może to osiągnąć poprzez zwiększenie nacisku na strukturę i logikę argumentów oraz kompletność informacji, styl przekazu i spójność matematyczną (np. w zakresie definicji i ich struktury), oraz stosowanie dobrych praktyk w tym zakresie.

**7. Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk technicznych?**

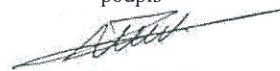
Omawiana rozprawa posiada potencjalne duże znaczenie dla dalszego rozwoju, upowszechniania i użyteczności tego rodzaju aparatów. Oceniane dzieło, uzyskane osiągnięcie projektowo-konstrukcyjne oraz analiza i synteza dokonane w zakresie teorii sterowania i inne zawarte w pracy rezultaty całkowicie spełniają wymagania stawiane przed pracami doktorskimi, w tym oczekiwania co do oryginalności i perspektyw wdrożenia w przemyśle. Dziedzina ta, dotycząca inteligentnych/bezzałogowych obiektów latających UAV, podlega aktualnie burzliwemu rozwojowi (w 2019 roku, w Gdańsku, odbyła się m.in. konferencja nt. *Intelligent Autonomous Vehicles*, pod auspicjami Światowej Federacji Automatyki, IFAC) oraz ma duże znaczenia dla wielu branż przemysłu. W tym tkwią zarówno źródła pracy, jak i jej inspiracyjne oddziaływanie oraz wpływ na promocję rozwoju nauki i techniki.

Wyniki pracy w postaci zweryfikowanego rozwiązania inżynierskiego mają duże znaczenie dla nauk technicznych i gospodarki narodowej. Krytyczne uwagi redakcyjno-edytorskie nie wpływają na wysoką ocenę zakresu oraz oryginalnych merytorycznych osiągnięć naukowo-badawczych doktoranta, zawartych w recenzowanej rozprawie, oraz pozytywną ocenę pracy, która w mojej opinii z nadmiarem spełnia wymagania (wdrożeniowej) rozprawy doktorskiej.

**8. Do której z następujących kategorii Recenzent zalicza rozprawę:**

- (a) nie spełniająca wymagań stawianych rozprawom doktorskim,
- (b) wymagająca wprowadzenia poprawek i ponownego recenzowania,
- (c) spełniająca całkowicie wymagania,
- (d) spełniająca wymagania z wyraźnym nadmiarem,
- (e) wybitnie dobra, zasługująca na wyróżnienie.

podpis



ZKowalczyk

