

Prof. dr hab. inż. Krzysztof Oprzędkiewicz,
AGH, Wydział EAIiB
Katedra Automatyki i Robotyki

Recenzja

Rozprawy doktorskiej

Mgr inż. Piotra Burzyńskiego

Tytuł rozprawy:

„Zastosowanie D-kształtnej nogi w robotach typu RHex - modelowanie przemieszczenia”

Dziedzina: nauki inżynieryjno-techniczne

Dyscyplina: Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne

Recenzowana praca powstała pod kierunkiem naukowym prof. dr hab. Ewy Pawłuszewicz. Niniejszą recenzję przygotowano na podstawie uchwały Rady Naukowej Wydziału Mechanicznego Politechniki Białostockiej z dnia 24 09 2025r.

1. Zakres i cel rozprawy

W chwili obecnej można zaobserwować dynamiczny wzrost obszarów zastosowań robotów krocących. Urządzenia te, pierwotnie konstruowane i stosowane głównie w celach dydaktycznych, naukowych i reklamowych (ze względu na ich „medialność”), obecnie zyskują coraz większe znaczenie w zastosowaniach komercyjnych, ratowniczych i wojskowych. Poprawnie skonstruowane i dobrze działające urządzenie tej klasy posiada znacznie lepsze własności terenowe, niż wszelkiego rodzaju roboty jeżdżące. Wynika to z faktu, że algorytmy poruszania się w znacznej większości przypadków są inspirowane sposobem poruszania się różnych zwierząt lub człowieka. Z drugiej jednak strony, konstrukcja napędu i sterowanie ruchem robota krocącego stanowią znacznie większe wyzwania dla konstruktorów, niż ma to miejsce w przypadku robotów jeżdżących. Dodatkowo, stosowanych jest wiele wersji systemów krocących, inspirowanych układami ruchu zwierząt, np. stawonogów. Wśród robotów krocących interesującą klasę stanowią roboty RHex. Ich konstrukcja, inspirowana układem ruchowym owada, składa się z korpusu i 6 obracających się swobodnie odnóży. Tego typu urządzenie może się poruszać zarówno w różnym terenie na lądzie, jak też po powierzchni wody. Jednocześnie jest ono względnie proste w konstrukcji i sterowaniu.

Pomimo wzmiankowanej powyżej prostoty szczegóły konstrukcyjne i metody sterowania robotów RHex stanowią wyzwanie dla konstruktorów z punktu widzenia między innymi energooszczędności, szybkości poruszania się oraz łatwej adaptacji urządzenia do poruszania się w środowisku zarówno lądowym, jak i wodnym.

Podsumowując, **hipotezy badawcze** podane na s 53 są trafne i istotne z punktu widzenia zarówno nauki, jak i praktycznych zastosowań robotów omawianej klasy. Są one następujące:

- ✓ *D-kształtna noga wykorzystana w robocie typu RHex zapewni mu możliwość przemieszczania się w środowisku wodno-lądowym.*

- ✓ *Model przemieszczania się robota typu RHex chodem statycznie stabilnym pozwala na odpowiedni dobór parametrów sekwencji obrotu kończyn oraz wybranych parametrów konstrukcyjnych.*
- ✓ *Modyfikacja klasycznego sposobu sterowania poprawi jakość regulacji przemieszczenia kątowego nogi robota typu RHex w środowisku wodnym.*

Weryfikacja powyższych hipotez wymagała rozwiązania następujących **zadań badawczych** (w skrócie):

- ✓ *Modyfikacja elementów bieżnych robota typu RHex pozwalająca na przemieszczanie się w ośrodkach wodno-lądowych,*
- ✓ *Opracowanie modelu przemieszczania się chodem trójpodporowym robota typu RHex po płaskim terenie pozwalającego na dobór parametrów sekwencji obrotu kończyn,*
- ✓ *Analiza i modyfikacje algorytmu regulacji przemieszczenia kątowego nóg zmodyfikowanego robota w środowisku wodnym.*

2. Przegląd treści rozprawy

Rozprawa rozpoczyna się **Streszczeniem** (w języku polskim i angielskim) i **Spisem oznaczeń**.

Wprowadzenie definiuje pojęcie robota kroczącego wraz z podaniem ogólnego zarysu historycznego powstania i zastosowań tych urządzeń. W końcowej części opisano zarys tematyki rozprawy.

W **Rozdziale 2** na podstawie obszernej analizy literatury zaprezentowano historię i przegląd zasadniczych typów robotów mobilnych wraz z analizą ich własności oraz dokonano ich ogólnej klasyfikacji na podstawie sposobów poruszania się oraz środowiska, w jakim operują. Na początku podano klasyfikację ogólną robotów mobilnych ze względu na środowiska pracy, typ ruchu oraz systemy napędowe. Następnie omówiono różne klasy robotów kroczących, dla których też zaprezentowano ich klasyfikację oraz omówiono zagadnienie stabilnego statycznie i dynamicznie chodu robota z uwzględnieniem robotów wielonożnych. W dalszej części tego rozdziału omówiono roboty operujące w środowisku wodnym (zarówno podwodne, jak i operujące na powierzchni wody), ze względu na fakt, że rozważany w rozprawie robot ma pracować w dwóch środowiskach. W końcowej części rozdziału 2 omówiono różne klasy robotów hybrydowych, zdolnych do poruszania się w różnych środowiskach.

Rozdział 3 prezentuje aktualny stan wiedzy z zakresu robotów kroczących klasy RHex, których dotyczy rozważana rozprawa. Budowa i diagram chodu robota tej klasy wzorowane są na budowie i sposobie poruszania się owadów (np. karalucha). Jednocześnie odpowiednia konstrukcja nogi może zapewnić łatwą adaptację do poruszania się zarówno na lądzie, jak i po powierzchni wody. W początkowej części tego rozdziału (3.2) zaprezentowano konstrukcję robotów tej klasy. W podrozdziale 3.3 oraz analizę kinematyki i dynamiki ich chodu oraz poruszania się w środowisku lądowym. Wzmiankowano klasyczne metody modelowania kinematyki i dynamiki robota z nogami C-kształtnymi z użyciem różnych podejść (metoda Eulera-Lagrange'a i Newtona-Eulera), jak również wykorzystanie środowisk obliczeniowych (MATLAB, ROS, Webots, uczenie maszynowe). W podrozdziale 3.4 omówiono amorfizm robota, rozumiany jako rozwiązania konstrukcyjne zwiększające mobilność robota: możliwość wspinaczki po stromym podłożu, wchodzenia po schodach oraz możliwość poruszania

się zarówno na lądzie jak i po powierzchni wody. Konsekwentnie podrozdział 3.5 omawia dynamikę robota podczas jego poruszania się w wodzie. Na końcu rozdziału 3 zaprezentowano przegląd metod sterowania robotami tej klasy ze szczególnym uwzględnieniem klasycznych metod wykorzystujących algorytm PID.

Hipotezy i zadania badawcze wzmiankowane powyżej są omówione w **Rozdziale 4**.

W **Rozdziale 5** jest omówiona konstrukcja i działanie opracowanej przez Autora platformy robotycznej FLHex, dedykowanej do pracy zarówno na lądzie, jak i w środowisku wodnym. Tego typu zmiana w pierwszej kolejności wymusza przekonstruowanie nogi robota w taki sposób, żeby mogła się ona automatycznie adoptować do środowiska pracy bez konieczności interwencji operatora ani instalacji dodatkowego mechanizmu (amorfizm pasywny) oraz zapewnić energooszczędność całego urządzenia. Skonstruowana przez Autora noga tego typu została nazwana nogą D-kształtną. W jej konstrukcji zastosowano płetwę *flapped-paddle-fin*, której zasada działania jest zbliżona do zachowania się lotek w skrzydłach ptaków podczas lotu. Powierzchnia oporowa jest duża podczas wznoszenia się (gdy skrzydło porusza się w dół), ale radykalnie się zmniejsza podczas ruchu powrotnego w górę (lotki się „składają”). Dodanie tego elementu ma umożliwić poruszanie się po powierzchni wody, natomiast jednocześnie nie ma praktycznie żadnego wpływu na poruszanie się na lądzie, gdyż w tych warunkach jest to klasyczna noga C-kształtna. Rozdział 5 w pierwszej kolejności (5.2) omawia autorską modyfikację C-kształtnej nogi robota poprzez dodanie płetwy *flapped-paddle-fin*. Następnie przedstawiona jest dokładna analiza dynamiki pojedynczej nogi podczas pracy w środowisku wodnym. W dalszej części tego rozdziału (5.3) zaprezentowano zbudowanego przez Autora robota FLHex, wykorzystującego nogi o zaproponowanej wcześniej konstrukcji. Główne założenia konstrukcyjne oparto na istniejących „klasycznych” rozwiązaniach, do sterowania wykorzystano mikrokontroler AR ATmega 2560, każda z 6 nóg posiada niezależny napęd silnikiem DC z przekładnią 50:1, położenie wału silnika jest odczytywane przyrostowymi enkoderami hallotronowymi. Silniki są sterowane sygnałem PWM. W podrozdziale (5.4) omówiono testy poruszania się zbudowanego robota w różnych środowiskach. Najpierw omówiono testy ruchu w płaskim terenie oraz podczas pokonywania przeszkód różnego typu: pokonywanie pojedynczej przeszkody oraz wchodzenie po schodach. W następnej kolejności zaprezentowano wyniki testów ruchu na powierzchni wody, przy czym ze względu na brak zapewnionej wodoszczelności (w obecnym etapie rozwoju konstrukcji) konstrukcja została uzupełniona o dodatkowy pływak utrzymujący całą konstrukcję na powierzchni wody. Wyniki testów działania robota, zebrane w tabelach 5.2 (s 67) oraz 5.3 (s 70) wskazują, że urządzenie zostało poprawnie skonstruowane i nadaje się do dalszych badań.

W **Rozdziale 6** zaprezentowano opracowany przez Autora model przemieszczania się robota FLHex po terenie płaskim. Ze względu na fakt, że podczas ruchu na lądzie noga D-kształtna nie różni się od nogi C-kształtnej, prezentowane wyniki mogą znaleźć zastosowanie w analizie ruchu innych robotów RHex z C-kształtnymi nogami. Zadaniem zbudowanego modelu jest wskazanie powiązania konstrukcji robota z jego przemieszczaniem się. W pierwszej kolejności (6.2) mówiono model poruszania się robota w terenie płaskim, uwzględniający zarówno kinematykę, jak i dynamikę. Następnie dokonano analizy sekwencji ruchu poszczególnych kończyn w cyklu chodu trójpodporowego ze szczegółową analizą poszczególnych części tego cyklu. Dalsza

część tego rozdziału (6.4) prezentuje symulacyjny model przemieszczania się robota bazujący na wynikach przedstawionych wcześniej oraz jego doświadczalną weryfikację na przygotowanym przez Autora stanowisku pomiarowym. Wyniki weryfikacji, pokazane na rysunkach 6.18 (s 97) do 6.22 (s 100) wykazują poprawność zbudowanego modelu symulacyjnego. Jego zastosowanie pozwala na eliminację części potencjalnych błędów konstrukcyjnych lub związanych ze sterowaniem.

Rozdział 7 omawia algorytmy sterowania rozważanym w dysertacji robotem. W rozważanym wypadku, przy założeniu określonej sekwencji ruchów poszczególnych kończyn istotne jest sterowanie napędami poszczególnych nóg w celu wykonania założonej sekwencji z zadaną dokładnością i możliwie niskim zużyciem energii. Sterowania napędami zostały zrealizowane z wykorzystaniem algorytmu PID, zarówno w wersji „klasycznej” oraz ze zmiennym okresem próbkowania. Jako istotną nowość zaproponowano tu także zastosowanie regulatora PID niecałkowitego rzędu (regulatora FOPID). Zastosowanie typowego dyskretnego regulatora PID omówiono na początku (7.2). W szczególności zaprezentowano działanie układu regulacji z regulatorem dostrojonym wg reguł Zieglera-Nicholsa. Oddzielnie wykonano badania dla działania w środowisku lądowym i wodnym, ze względu na różne charakterystyki pracy. W następnej kolejności (7.3) omówiono modyfikację regulatora PID polegającą na zastosowaniu zmiennego okresu próbkowania podczas pracy regulatora. Miało to na celu zmniejszenie obciążenia obliczeniowego sterownika oraz sprawdzenie odporności sterowania na niedokładne taktowanie. Należy jednak pamiętać, że zmienny okres próbkowania może pogorszyć jakość regulacji w układzie i w skrajnym przypadku prowadzić do utraty stabilności. W rozważanym wypadku zastosowanie zmiennego okresu próbkowania prowadziło do pogorszenia jakości regulacji w układzie, co jest pokazane na rys. 7.4 i 7.5 oraz opisane w tabeli 7.1 (s 114). Zmienny okres próbkowania pogarsza wskaźnik jakości ISE oraz powoduje zwiększone zużycie energii, opisane przez wskaźnik ICE. W dalszej części tego rozdziału (7.4) zaproponowano sterowanie napędami robota z użyciem regulatora PID niecałkowitego rzędu (regulatora FOPID). Ułamkowa dynamika regulatora została zamodelowana z użyciem aproksymacji ORA w środowisku SIMULINK na komputerze stacjonarnym. Mikrokontroler był w rozważanym wypadku stosowany tylko jako stacja akwizycji pomiarów oraz układ formujący sygnały sterujące do podania na silniki. Wyniki badań regulatora FOPID, zilustrowane przez rys. 7.10-7.12 oraz opisane w tabeli 7.2 (s. 128) wskazują, że zastosowanie regulatora FOPID pozwala na poprawę jakości regulacji w sensie zarówno rozważanych funkcji kosztu (ISE i ICE) oraz w sensie bezpośrednich wskaźników jakości takich jak przeregulowanie i czas ustalania.

W **Podsumowaniu** odniesiono się do postawionych na początku pracy hipotez badawczych. Na podstawie wyników badań omówionych szczegółowo we wcześniejszych rozdziałach należy stwierdzić, że wszystkie 3 hipotezy zostały udowodnione i mogą być wskazane jako osiągnięcia naukowe jej Autora.

Ostatnia część rozprawy, **Kierunki dalszych prac** proponuje dalsze możliwości rozwinięcia zagadnień z rozprawy. Można tu wymienić opracowanie modelu dynamicznego rozważanego robota do poruszania się pod wodą lub też opracowanie i implementację innych algorytmów sterowania, np. adaptacyjnych i predykcyjnych. Innym wzmiankowanym obszarem jest przekonstruowanie konstrukcji mechanicznej w celu dostosowania do konkretnych zadań. Planowane jest także dokładniejsze zbadanie zmiennego okresu próbkowania.

Rozprawa kończy się przeglądem **literatury** zawierającym 169 pozycji oraz 9 odnośników do stron internetowych. W spisie tym są wykazane 4 publikacje Autora rozprawy: 2 współautorskie (Autor rozprawy jest pierwszym autorem) w czasopismach z IF oraz 2 samodzielne referaty na dużej konferencji międzynarodowej.

3. Osiągnięcia rozprawy

Po zapoznaniu się z treścią rozprawy można wskazać następujące główne osiągnięcia naukowe Autora (w skrócie):

(O1) Opracowanie nowej, autorskiej konstrukcji kończyny robota, tzw D-kształtnej nogi, będącej adaptacją kończyny C-kształtnej do pracy w środowisku wodnym z wykorzystaniem płetwy *flapped-paddle-fin* oraz weryfikacja doświadczalna działania robota z tym rodzajem napędu zarówno na lądzie, jak i na powierzchni wody. Zaproponowane rozwiązanie zostało zaprojektowane, zbudowane i przetestowane przez Autora rozprawy. Dzięki zastosowaniu tej modyfikacji została opracowana nowa konstrukcja robota, nazwana „FLHex”, zdolna do poruszania się zarówno w środowisku lądowym, jak i wodnym bez konieczności skomplikowanej rekonfiguracji pędników.

(O2) Opracowanie modelu poruszania się robota klasy RHex chodem trójpodporowym po podłożu płaskim oraz wykorzystanie tego modelu do syntezy sekwencji chodu całego urządzenia oraz odpowiedniego doboru parametrów pracy napędów poszczególnych kończyn w celu osiągnięcia zadanej trajektorii ruchu podczas poruszania się na lądzie.

Należy tu podkreślić, że opracowany model może być zastosowany do badań innych robotów RHex z C-kształtnymi kończynami, gdyż kończyna D kształtna podczas działania na lądzie nie różni się od kończyny C-kształtnej. To znacznie rozszerza możliwość zastosowań tego osiągnięcia.

(O3) Zaproponowanie i weryfikacja doświadczalna dwóch modyfikacji klasycznego algorytmu regulacyjnego PID, stosowanego do sterowania poszczególnymi napędami.

Pierwsza z nich polegała na zastosowaniu zmiennego okresu próbkowania w celu zmniejszenia obciążenia obliczeniowego sterownika robota. Wyniki doświadczalne wskazują jednak, że ta modyfikacja pogarsza jakość regulacji. Druga zaproponowana modyfikacja klasycznego regulatora PID polegała na zastąpieniu go przez regulator niecałkowitego rzędu, tzw. regulator FOPID. Algorytmy regulacyjne tej klasy zapewniają zwykle poprawę jakości regulacji w sensie przyjętych wskaźników jakości. W przypadku rozważanego robota ta poprawa jakości regulacji również nastąpiła, co uzasadnia zastosowanie regulacji FOPID w przypadku sterowania napędami robotów klasy RHex.

Podsumowując osiągnięcia rozprawy, należy bardzo mocno podkreślić całościowe ujęcie tematu: od zaprojektowania, poprzez budowę od podstaw doświadczalnej platformy robotycznej, analizę teoretyczną i opracowanie złożonych modeli matematycznych urządzenia aż do weryfikacji doświadczalnej postawionych hipotez naukowych.

4. Uwagi dyskusyjne

Podczas lektury recenzowanej rozprawy nasunęły się również pewne uwagi o charakterze dyskusyjnym. Część z nich ma naturę ogólną, pozostałe są szczegółowe. Są one podane poniżej.

4.1. Uwagi ogólne

(UO1) Przy omawianiu konstrukcji robota (głównie rozdział 5.3) nie powiedziano wyraźnie, co Doktorant zbudował samodzielnie, a co zostało np. zlecone do wykonania? Można się domyślić, że konstrukcja została w całości samodzielnie zbudowana przez Autora, ale warto to doprecyzować.

(UO2) Podczas implementacji regulatora FOPID zastosowano tylko aproksymację ORA. Dlaczego nie rozważono dyskretnej aproksymacji CFE (Continuous Fraction Expansion), która ma niezłą dokładność przy niskiej złożoności obliczeniowej (rzęd aproksymacji niższy niż 10)? Pominięcie PSE i FOBID jest uzasadnione ich wysoką złożonością (rzęd co najmniej równy 100).

4.2. Uwagi szczegółowe

(US1) s. 49⁵ – warto doprecyzować, że część D zwiększa wrażliwość na sygnały o charakterze nieciągłym, np. szumy i skokowe zmiany wartości zadanej.

(US2) Na s. 69 opisano testy działania napędu podczas pływania, które (ze względu na brak wodoszczelności) wymagały umieszczenia robota na dodatkowym pływaku. Tu nasuwa się pytanie, na ile te testy będą miarodajne przy późniejszym pływaniu już bez pływaka? Robot będzie mieć większe zanurzenie, co implikuje również większe zanurzenie pędników i może powodować ich inne działanie.

(US3) s. 76 i to samo na s. 90 – przy budowie modelu założono, że masa nogi jest pomijalnie mała. Tu pojawia się pytanie o słuszność tego uproszczenia?

(US4) s. 90 Dlaczego podczas weryfikacji modelu chodu zastosowano znów nogi C-kształtne, a nie zbudowane przez Autora i rozważane D-kształtne? Noga D-kształtna ma większą masę, niż C-kształtna i to powinno być wzięte pod uwagę, podobnie jak sprawdzenie zachowania się płetw podczas ruchu na lądzie.

(US6) s 106, rys. 7.1 – jaki jest model dynamiki napędu pojedynczej nogi? Może on być opisany np. transmitancją zastępczą w postaci obiektu całkującego z inercją, ale należało to wyraźnie opisać.

(US7) s 107, komentarz przed wzorem (68). Inercja w części „D” (różniczkującej) nie wynika z konieczności opisu dynamiki elementów wykonawczych, tylko z konieczności zapewnienia fizycznej realizowalności różniczkowania.

(US8) s 107 wzór (69) – dlaczego w tym wzorze nie zastosowano stałego okresu próbkowania T , tylko od razu założono, że okres może być zmienny?

(US9) s. 108 – dostrajanie regulatora wg reguł Zieglera-Nicholsa powinno być bardziej szczegółowo opisane ze względu na specyfikę obiektu regulacji.

(US10) s 108 – przebieg sterowania pokazany na rys.7.2 powinien być oceniony jakimś wskaźnikiem jakości, a wskaźniki pojawiają się dopiero na s. 111.

(US11) s 109⁸ – na czym polegało „dodatkowe strojenie”?

(US12) s 110 – W realnych systemach cyfrowych są metody zapewnienia dokładnego taktowania. Niedokładne taktowanie nie może determinować konieczności użycia próbkowania o zmiennym okresie.

(US13) s. 117³ – jak jest rozumiana „niska wydajność” systemu sterowania lub metody strojenia?

(US14) s 119 – Określenia „lepsza zgodność”, „zwiększona stabilność” i „lepsza jakość regulacji” są nieprecyzyjne.

(US15) s 119 – Aproksymacje bazujące na definicji Grunwalda-Letnikova to: PSE (Power Series Expansion) oraz FOBD (Fractional Order Backward Difference).

(US16) s. 119, 120 - Aproksymacja ORA jest aproksymacją ciągłą, ale może być zdyskretyzowana i wtedy nadaje się do implementacji cyfrowej. Wzór (79) jest ciągły i nie może być bezpośrednio zaimplementowany na platformie cyfrowej. Można jednakże na jego podstawie wygenerować kod na mikrokontroler z użyciem odpowiednich narzędzi dostępnych np. na platformie SIMILINK.

(US17) s.121 – dlaczego algorytmu FOPID nie zaimplementowano bezpośrednio na sterowniku robota? Kod źródłowy na mikrokontroler może być wygenerowany bezpośrednio spod SIMULINK-a. To ogromnie podniosłoby wagę otrzymanych wyników w sensie możliwości ich praktycznego zastosowania.

(US18) s. 129 – określenie „oscylacje w odpowiedzi regulatora” - chyba dotyczy odpowiedzi układu?

5. Strona formalna

Od strony redakcyjnej tekst rozprawy jest przygotowany poprawnie, nieliczne uwagi językowe i redakcyjne są podane poniżej.

(UR1) W tekście nadużywane jest określenie „D-kształtna noga robota FLHex”. Duża część rozważań odnosi się do tego elementu robota rozważanej klasy, gdyż jest on przedmiotem rozważań w dysertacji i nie musiało to być tak często przypomniane.

(UR2) Wzory powinny być numerowane tak samo jak rysunki i tabele, tzn. z uwzględnieniem numeru rozdziału.

(UR3) s 113, rys. 7.4 jest słabo czytelny.

(UR4) Błędy językowe i „literówki”: 38¹¹, 48², 53¹⁷, 64¹⁶, 66⁷, 102¹⁴, 122³⁻¹,

6.Podsumowanie

Na podstawie przeglądu treści rozprawy stwierdzam, że jej Autor posiada rozległą wiedzę z zakresu robotyki obejmującą aspekty konstrukcyjne, analizę kinematyki i dynamiki złożonych układów mechanicznych oraz z zakresu systemów sterowania

robotami mobilnymi. Należy tu wyraźnie podkreślić mutlidyscyplinarność rozprawy, obejmującą zagadnienia z inżynierii mechanicznej, elektrotechniki i automatyki.

Autor rozprawy wykazał się także kreatywnością oraz zdolnością do rzetelnej analizy zarówno istniejących, jak i własnych rozwiązań, co wskazuje na umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Rozprawa prezentuje oryginalne rozwiązanie poprawnie postawionego problemu naukowego, którym jest opracowanie nowatorskiej konstrukcji robota mobilnego zdolnego do operowania w środowiskach: lądowym i wodnym bez konieczności skomplikowanej rekonfiguracji pędników.

Jednocześnie zdecydowanie stwierdzam, że uwagi dyskusyjne podane w punktach 4 i 5 nie w żadnym wypadku umniejszają wartości ocenianej rozprawy.

Podsumowując, recenzowana rozprawa spełnia w mojej opinii wymagania stawiane rozprawom doktorskim w Ustawie z 20 lipca 2018 r. Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce. Wnioskuje zatem do Rady Naukowej Wydziału Mechanicznego Politechniki Białostockiej o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie jej Autora, mgr inż. Piotra Burzyńskiego do publicznej obrony.

Ponadto stwierdzam, że zakres pracy niezbędny do uzyskania wyników prezentowanych przez Autora przewyższa wymagania stawiane zwyczajowo przed rozprawami doktorskimi. Temat jest ujęty całościowo: od zaprojektowania i zbudowania urządzenia, poprzez analizę teoretyczną i budowę modelu symulacyjnego jego działania aż do badań eksperymentalnych weryfikujących wcześniejsze wyniki teoretyczne i symulacyjne. Wyniki prezentowane przez Autora są wartościowe naukowo i mają wysoki potencjał wdrożeniowy w robotyce mobilnej, a w szczególności w robotach do zastosowań specjalnych. W związku z tym wnoszę o **wyróżnienie** rozprawy. Jednocześnie informuję, że jej Autor jest pierwszym autorem dwóch artykułów w czasopiśmie z Impact Factorem (pozycje: [A124] i [A136] w bibliografii).

