

RECENZJA
rozprawy habilitacyjnej, dorobku naukowego, dydaktycznego i organizacyjnego
dr. inż. Andrzeja Burghardta
w postępowaniu kwalifikacyjnym w sprawie nadania stopnia naukowego
doktora habilitowanego nauk technicznych

Formalną podstawą opracowania recenzji są pismo RM-531-04-05/2013 Pana Dziekana Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej dr. hab. inż. Jarosława Sępa z dnia 7 kwietnia 2014 r. oraz Ustawa z dnia 14 marca 2013 r. o stopniach i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (z późniejszymi zmianami).

Kryteria oceny uwzględniają Rozporządzenie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 1 września 2011 r. w sprawie kryteriów oceny osiągnięć osoby ubiegającej się o nadanie stopnia doktora habilitowanego.

Recenzja została opracowana na podstawie dostarczonych dokumentów:

1. rozprawy habilitacyjnej „Modelowanie i sterowanie formacją robotów” Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2013 r.
2. kwestionariusza osobowego i życiorysu,
3. autoreferatu o pracy naukowej, dydaktycznej i organizacyjnej,
4. wykazu opublikowanych prac naukowych
5. kopii wybranych publikacji.

1. Informacje ogólne dotyczące Habilitanta

Pan dr inż. Andrzej Burghardt, ur. 2 listopada 1976 r. w Tarnobrzegu, ukończył dwa kierunki studiów wyższych w Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie:

- na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, kierunek Automatyka i robotyka, specjalność robotyka i mechatronika (rok 2001); tytuł pracy magisterskiej „Emulator pracy mobilnego robota kołowego Pioneer 2DX” (promotor: Prof. dr hab. inż. Józef Giergiel dr h.c. multi.);
- na Wydziale Górniczym, kierunek Zarządzanie i marketing, specjalność marketing i zarządzanie w przemyśle (rok 2001); tytuł pracy magisterskiej „Nowoczesne systemy obsługi klientów na przykładzie Banku Śląskiego” (promotor: Prof. dr hab. inż. Ireneusz Soliński).

Tuż po studiach wyższych został zatrudniony w Politechnice Rzeszowskiej na Wydziale Budowy Maszyn i Lotnictwa, w Katedrze Mechaniki Stosowanej i Robotyki na stanowisku asystenta (lata pracy 2001-2005). Stopień doktora nauk technicznych uzyskał w dniu 9 listopada 2005 r. na Wydziale Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej w dyscyplinie Budowa i eksploatacja maszyn. Temat pracy doktorskiej „Sterowanie behawioralne mobilnym robotem kołowym” (promotor: Prof. dr hab. inż. Zenon Hendzel). Po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych, od 2005 r. pracuje w Katedrze Mechaniki Stosowanej i Robotyki Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa PRz na stanowisku adiunkta.

2. Ocena rozprawy habilitacyjnej „Modelowanie i sterowanie formacją robotów” Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2013 r.

2.1. Ogólna charakterystyka rozprawy.

Rozprawa habilitacyjna składa się z 11 rozdziałów, spisu literatury, streszczenia pracy w języku polskim i angielskim. Objętość pracy to 168 stron, na których zamieszczono m.in. 103 rysunki.

W **rozdziale 1.** „Wprowadzenie” określony jest cel pracy, którym było opracowanie algorytmów sterowania ruchem formacji robotów mobilnych realizujących złożone zadanie w nieznanym środowisku, zawierającym stabilne i niestabilne minima lokalne. Opisane są przykładowe rozwiązania dotyczące sterowania pojedynczym robotem mobilnym jak i zespołem robotów. Zarysowany jest także zakres pracy. W końcowej części rozdziału znajduje się bardzo zwięzły przegląd literatury.

W **rozdziale 2.** „Wybrane aspekty mobilnej robotyki” opisane są zagadnienia dotyczące budowy mobilnych robotów w ujęciu mechatronicznym. W związku z tym zwięzłe przedstawione są dostępne narzędzia informatyczne obejmujące sprzęt i oprogramowanie stosowane w projektowaniu robotów a także układy szybkiego prototypowania. Omówione są ich wady i zalety oraz kwestie dotyczące ich zastosowania w mobilnej robotyce aktorów i sensorów. W ostatnim podrozdziale zaprezentowane są wybrane algorytmy sterowania robotem i formacją robotów oraz poruszone są kwestie możliwości ich praktycznego zastosowania.

Rozdział 3. „Inteligentne systemy obliczeniowe” zawiera informacje dotyczące systemów obliczeniowych kojarzonych ze sztuczną inteligencją (Artificial Intelligence – AI). W kolejnych podrozdziałach zwięzłe opisane są wybrane zagadnienia dotyczące sztucznych sieci neuronowych, układów z logiką rozmytą oraz metod adaptacyjnego programowania dynamicznego w odniesieniu do sterowania robotami oraz formacjami robotów.

W **rozdziale 4.** „Kinematyka mobilnych robotów kołowych” prowadzone są rozważania dotyczące realizacji zadania prostego i odwrotnego kinematyki dla pojedynczego robota oraz dla zespołu robotów transportujących obiekt o gabarytach znacznie przewyższających wymiary robotów. Sformułowane są zależności dotyczące kinematyki mobilnego robota kołowego w postaci ramy i dwóch kół napędzających oraz robota kołowego z dodatkowym, swobodnym kołem podpierającym a także formacji robotów. Wyjaśnione jest jak dla zadanego ruchu transportowanej przez formację 4 robotów kołowych bryły obliczyć prędkości kątowe kół napędzających wszystkie roboty formacji. Rozdział kończy symulacja zadań formacji robotów kołowych bez uwzględnienia dynamiki układu. Symulację wykonano w środowisku programowym Matlab/Simulink.

Rozdział 5. „Dynamika mobilnego robota kołowego” obejmuje modelowanie dynamiki ruchu robota z użyciem równań Lagrange’a, Appella oraz Maggiego. W celu wyrugowania nieznanymi sił tarcia suchego z równań stanowiących model ruchu robota kołowego wykorzystano metodę rzutową. Zaproponowano metodę estymacji parametrów przyjętego modelu mobilnego robota kołowego.

W **rozdziale 6.** „Sterowanie ruchem nadążnym lidera formacji” opisano zagadnienia sterowania ruchem nadążnym lidera formacji. Zaproponowano algorytm sterowania adaptacyjnego, którego syntezę wykonano stosując model matematyczny z rozdziału 5. W procesie adaptacji użyto sztuczne sieci neuronowe, mając na uwadze, że stosowane w praktyce modele matematyczne tylko w przybliżeniu opisują właściwości sterowanych obiektów. Przeanalizowano stabilność proponowanych algorytmów w ujęciu teorii stabilności Lapunowa.

Rozdział 7. „Metody sterowania formacją robotów” zawiera opis struktury algorytmów sterowania formacją robotów. Zaznaczono w nim, iż na niskim poziomie układu sterowania zastosowano wcześniej opracowane algorytmy sterowania nadążnego. W rozdziale tym omówione są także zagadnienia sterowania formacją metodami: wirtualnej maszyny, śledzenia lidera oraz sterowania od punktu do punktu. Przedstawiono wyniki symulacji zaproponowanych rozwiązań podążania formacji wzdłuż zdefiniowanego toru z użyciem algorytmu wirtualnej maszyny oraz śledzenia lidera, wykonanej w środowisku programowym Matlab/Simulink z użyciem zbudowanego emulatora środowiska pracy mobilnych robotów.

W **rozdziale 8.** „Elementarne zadania lidera formacji robotów i ich koordynacja” omówiono algorytmy sterowania behawioralnego realizujące trzy elementarne zachowania: podążaj wzdłuż ściany, omijaj przeszkody, osiągnij zdefiniowany punkt w przestrzeni. Przedstawione elementarne zadania zrealizowano stosując algorytm Braitenberga, logikę rozmytą oraz sieć neuronową Kohonena. Algorytmy realizujące elementarne zadania użyto w procedurze koordynacji zadań zorientowanej na osiągnięcie przez mobilny robot w nieznanym środowisku zdefiniowanego celu. W procedurze sterowania zastosowano sieć neuronową Kohonena oraz neuronowe programowanie dynamiczne.

Rozdział 9. „Sterowanie formacją robotów w nieznanym środowisku” zawiera propozycję rozwiązania układu sterowania wykonującego zadanie osiągnięcia celu w nieznanym środowisku przez formację robotów. Zaproponowane przez Autora rozwiązanie umożliwia realizację osiągnięcia celu przez formację mobilnych robotów kołowych w środowiskach pracy, w których występują przeszkody prowadzące do powstawania stabilnych i niestabilnych minimów lokalnych. Wykorzystano własności samoorganizujących się sieci neuronowych. Wykonano symulację zadania osiągnięcia celu. Zaproponowane rozwiązanie zasymulowano w emulatorze pracy mobilnych robotów oraz zweryfikowano w autorskim środowisku kontrolno-pomiarowym.

W **rozdziale 10.** „Badania eksperymentalne” opisano układ kontrolno-pomiarowy oraz weryfikację algorytmu identyfikacji wybranych parametrów robota-lidera, neuronowego sterowania ruchem lidera oraz metod sterowania formacją robotów kołowych. Symulacje wykonano stosując środowisko programowe Matlab/Simulink z użyciem utworzonego emulatora środowiska pracy mobilnych robotów. Wyniki etapu estymacji parametrów modelu zastosowano jako dane wejściowe do modelu robota kołowego AmigoBot, użytego w badaniach testowych prezentowanych w monografii. Przedstawiono wyniki weryfikacji sterowania ruchem formacji robotów kołowych wykonanej w zaprojektowanym i opisanym wcześniej środowisku kontrolno-pomiarowym.

Rozdział 11. „Podsumowanie” zawiera bardzo zwięzły opis zagadnień poruszonych w monografii oraz obszarów możliwych zastosowań opracowanych przez Autora rozwiązań. Wyszczególnione są w nim również główne autorskie osiągnięcia zawarte w monografii.

Przedstawione w monografii rozwiązania uzupełniono przykładami zawierającymi wyniki testów numerycznych oraz weryfikacyjnych prac badawczych realizowanych z użyciem mobilnych robotów AmigoBot.

2.2. Szczegółowa charakterystyka rozprawy z uwzględnieniem głównych autorskich osiągnięć

Zakres pracy, zarysowany w rozdziale 1., obejmuje głównie następujące zagadnienia:

- przegląd wybranych podstaw mobilnej robotyki i inteligentnych systemów obliczeniowych;
- opis kinematyki i dynamiki robota kołowego bez koła podpierającego i z tym kołem z uwzględnieniem dynamiki napędów i identyfikacji parametrów modelu;
- algorytmy sterowania nadążnego ruchem lidera formacji robotów kołowych;
- algorytmy sterowania formacją robotów kołowych;
- algorytmy zadań elementarnych lidera formacji robotów kołowych oraz ich koordynacja;
- algorytmy sterowania formacją robotów kołowych w nieznanym środowisku;
- eksperymentalna weryfikacja ww. algorytmów.

Analiza stanu wiedzy, zawartej w dostępnych publikacjach wskazuje na fakt, iż opublikowane metody i algorytmy sterowania formacją robotów kołowych związane są z przyjmowaniem dużych uproszczeń dotyczących dynamiki obiektów sterowania. Często nie uwzględnia się też dynamiki zastosowanych napędów i pomija wpływ tarcia. Prezentowane w monografii algorytmy pozwalają w pewnym stopniu uwzględnić ww. zagadnienia.

Wykorzystywane zwykle w sterowaniu formacją robotów kołowych algorytmy stosujące sztuczne pola potencjałowe, odwzorowujące cel i przeszkody, są wrażliwe na lokalne minima, wśród których szczególną trudność sprawiają stabilne minima lokalne. Problemy te narastają zwłaszcza w przypadku przeszkód o złożonych kształtach.

Uważam, że cel i teza sformułowane w podrozdziale 1.1 monografii odwzorowują aktualny stan wiedzy i odnoszą się do ważnych, z teoretycznego oraz praktycznego punktów widzenia, stale aktualnych zagadnień naukowych.

Autor rozważa w monografii zarówno proste zagadnienia sterowania ruchem, związane z odwzorowaniem ruchu robota, jak i zagadnienia odwrotne, prowadzące do sformułowania algorytmów sterowania ruchem pojedynczego robota i formacji. Wartościowym podejściem do rozwiązania zagadnienia sterowania ruchem formacji robotów jest algorytm wykorzystujący koncepcję elementarnych zadań lidera i ich koordynację. Ponadto, ciekawe i przydatne w rozwiązaniu zagadnienia sterowania ruchem mobilnego robota kołowego w obecności przeszkód jest zastosowanie sztucznych sieci neuronowych oraz neuronowego programowania dynamicznego. Podstawową ideą zaproponowanego algorytmu jest użycie aproksymacyjnych własności samoorganizujących się sztucznych sieci neuronowych. Zastosowana w rozwiązaniu zadania sterowania ruchem mobilnego robota kołowego sieć neuronowa Kohonena wyłania z sieci samoorganizujących się neuronów jeden neuron dominujący. Umożliwia to wytrącenie robota kołowego ze stabilnego minimum lokalnego oraz obliczenie bezkolizyjnych kierunków ruchu formacji do celu, co związane jest z osiągnięciem minimum globalnego. Zaproponowane rozwiązanie, stosujące neuronowe programowanie dynamiczne, eliminuje konieczność uczenia struktur metodą prób i błędów,

nie wymaga wstępnego procesu uczenia struktur krytyka i aktora a ponadto może być zastosowane w czasie rzeczywistym.

Uważam, że ww. podejścia do rozwiązania stale aktualnych, istotnych w mobilnej robotyce zagadnień naukowych sterowania ruchem mobilnego robota kołowego oraz formacją takich robotów, wraz z zaproponowanymi algorytmami, stanowią cenny wkład Autora w opisanym zakresie problematyki sterowania ruchem mobilnych robotów kołowych.

Za oryginalne osiągnięcia pracy można uznać:

- opracowanie modelu dynamiki mobilnego robota kołowego z uwzględnieniem koła podpierającego oraz dynamiki napędów (we współrzędnych niezależnych) a także przeprowadzenie identyfikacji parametrów modelu;
- stworzenie modelu kinematyki formacji mobilnych robotów kołowych;
- opracowanie algorytmów będących wynikiem rozwiązania zadania prostego i odwrotnego kinematyki formacji robotów realizującej transport wielkogabarytowy; w tym m.in. opracowanie algorytmów sterowania formacją robotów w nieznanym środowisku wraz z ich weryfikacją (w ograniczonym zakresie) na obiektach rzeczywistych, odnoszącą się do osiągania przez formację robotów w ww. środowisku zadanego celu, bez zatrzymywania na stałe formacji w punkcie przestrzeni odpowiadającym lokalnemu minimum zdefiniowanej funkcji celu;
- zaprojektowanie i wykonanie środowiska kontrolno-pomiarowego wspomagającego badania mobilnych robotów kołowych w postaci biblioteki oprogramowania Matlab/Simulink wraz z elementami aparatury kontrolno-pomiarowej, obejmującej czujniki ultradźwiękowe i laserowe oraz skaner laserowy z oprogramowaniem.

2.3. Uwagi o charakterze krytycznym lub dyskusyjnym

2.3.1. Uwagi ogólne o znaczeniu głównie merytorycznym

1. Monografia odnosi się do specyficznej grupy robotów – mobilnych robotów kołowych, które zresztą są zilustrowane na okładce poglądowym rysunkiem. Moim zdaniem zarówno tytuł monografii jak i tytuły rozdziałów VII. i IX, powinny zawierać dodatkowe słowo „kołowych”, gdyż tworzone modele kinematyki, dynamiki i układów sterowania ewidentnie odnoszą się do specyfiki mobilnych robotów kołowych.

2. W wielu miejscach monografii trudno zorientować się co jest rzeczywistym, nowatorskim wkładem Autora w rozwiązywanym zadaniu. Przykładem może być podrozdział IV.1, w którym wyprowadzane są różne, opisane w literaturze, zależności dotyczące kinematyki mobilnego robota kołowego. Kończy się on stwierdzeniem, że „Omawiana tematyka była przedmiotem wielu analiz i publikacji w Katedrze Mechaniki Stosowanej i Robotyki Politechniki Rzeszowskiej [44, 45, 135, 136, 138]”. Podobnie, na str. 48 napisano, że „Symulację zaproponowanego rozwiązania przeprowadzono w środowisku programowym Matlab/Simulink, z zastosowaniem zbudowanego przez autorów emulatora środowiska pracy n -robotów mobilnych.” oraz „Weryfikację zaproponowanego algorytmu sterowania formacją przeprowadzono w zaprojektowanym przez autorów środowisku kontrolno-pomiarowym przedstawionym w rozdziale X”. Kolejnym przykładem jest też podrozdział V.7, w połowie którego, na str. 65, napisano, że „Zastosowaną metodę szczegółowo przedstawiono w artykule [64].” (autorzy artykułu [64]: Hendzel Z., Nawrocki M.). Również pierwsze zdanie podrozdziału X.5, brzmiące „Weryfikację zaproponowanego algorytmu sterowania formacją

przeprowadzono w zaprojektowanym przez autorów środowisku kontrolno-pomiarowym opisanym w rozdziale X”, rodzi pytanie o zakres udziału Autora monografii w wykonaniu ww. zadań.

3. W podrozdziale 1.2 „Przegląd literatury” Autor powołuje się na 20 publikacji. Najświeższa cytowana publikacja („[75]”) jest z roku 2006, 3 publikacje ([78], [124] i [132]) są z roku 2004. Pozostałych 16 publikacji jest starszych niż 10 lat. Uwzględniając, że w ww. obszarze mobilnej robotyki dokonuje się szybki postęp znajdujący odzworowanie w bardzo licznych publikacjach, nie można twierdzić, iż liczący ok. 2,5 strony podrozdział odzworowuje aktualny stan wiedzy w omawianym w tym podrozdziale zakresie. Spis cytowanej literatury liczy 138 pozycji, z czego tylko 41 (ok. 30%) jest młodszych niż 10 lat, przy czym ponad połowa z nich tj. 23 (ok. 56%) to pozycje autorstwa lub współautorstwa Habilitanta.

4. Równanie (IV.32) to równanie ruchu, zaś wzór (IV.33) przedstawia Jakobian, a nie na odwrót, jak to napisano w monografii.

5. Wzór (V.25) na str. 58 w podrozdziale V.4 dotyczącym zastosowania metody rzutowej w modelowaniu dynamiki jest błędny, gdyż podanych w nim iloczynów nie da się obliczyć. Podobnie, wzory (V.49) i (V.50) na str. 61, w podrozdziale V.5 dotyczącym modelowania dynamiki mobilnego robota kołowego z uwzględnieniem koła podpierającego są błędne. Zawartych w nich iloczynów, np. iloczynu zmierzającego do obliczenia parametru γ nie da się obliczyć.

6. W opisie proponowanego algorytmu stosującego samoorganizujące się sieci neuronowe, przedstawionym w podrozdziale VIII.3.2 zdefiniowano na str. 102 nowe współrzędne położenia zwycięskiego neuronu w sieci w postaci wektora $w_z = [d_{Fi}, d_{si}]^T$, zawierającego informacje o odległościach d_{Fi} i d_{si} , gdzie d_{Fi} jest odległością od przeszkody z przodu robota (str. 86), a d_{si} – znormalizowaną odległością mobilnego robota od przeszkody z prawej strony (str. 101). Wektor ten jest podstawiany do zależności (VIII.9) i stanowi sygnał sterowania układu nawigacji mobilnego robota. Ten etap obliczeń wymaga wyjaśnienia i uzasadnienia, gdyż wzór (VIII.9) na str. 87 zawiera wagę zwycięskiego neuronu, która wynika ze wzoru (VIII.6), przy czym w dalszym ciągu opisu algorytmu Autor przyjmuje, że współrzędne położenia zwycięskiego neuronu w sieci zdefiniowane są jako $w_z = [d_{Gz}, \psi_{Gz}]^T$, gdzie d_{AG} jest odległością do celu a ψ_G stanowi miarę kąta obrotu. Czy można wyjaśnić różnicę informacji w wektorach w_z określonych na stronach 90 i 102 i jaki ma to wpływ na efektywność obliczeń zgodnie z ww. zaproponowanym algorytmem?

7. Umieszczony na końcu podrozdziału VIII.3.4 wniosek mówiący o skuteczności zaproponowanych rozwiązań powinien być uzasadniony. W podrozdziale przedstawiono wyniki symulacji numerycznej. Sama symulacja numeryczna dostarcza informacji o obliczonych rozwiązaniach, ale weryfikacja wymaga porównania wyników uzyskanych w drodze symulacji i/lub badań eksperymentalnych z tym co powinno być osiągnięte. W ostatnim zdaniu podrozdziału VIII.3.4 napisane jest „Otrzymane wyniki numerycznej weryfikacji proponowanych rozwiązań potwierdzają ich skuteczność w zadaniu generowania i realizacji trajektorii przez mobilny robot”. Na podstawie rysunku VIII.24 na str. 103 można jednak tylko próbować domyślać się jaki był spodziewany kształt toru ruchu w postawionym zadaniu i czy zadanie sterowania zostało faktycznie poprawnie zrealizowane.

8. Analiza zmian prędkości kątowych na wykresach pokazanych na rys VIII.30 wskazuje na to, że obiekt doznaje bardzo dużych przyspieszeń, które przekładają się na występowanie

odpowiednio dużych momentów i sił. Powstaje zatem wątpliwość w jakim stopniu stworzony model matematyczny, stosowany m.in. w celu symulacji, odpowiada rzeczywistemu obiektowi w kontekście prawidłowego odwzorowania jego dynamiki.

9. W podrozdziale X.2 wskazano, że przy rozwiązywaniu układu równań do dalszej części badań symulacyjnych przyjęto jedno z pary rozwiązań, opisane zależnościami (X.6), (X.7). Wskazane byłoby uzasadnić ten krok.

10. Na str. 146 w 5.-6. wierszach od dołu napisano, że „W badaniach weryfikacyjnych z zastosowaniem mobilnych robotów kołowych AmigoBot, uzyskano wyniki analogiczne jak w symulacjach”. Wątpliwe jest aby wyniki symulacji numerycznej i weryfikacji doświadczalnej były idealnie takie same. Użyte w monografii określenie „analogiczne” wymaga jakiegoś porównania, uzasadnienia, skwantyfikowania różnic wyników, itp., co w monografii jest niestety bardzo ograniczone. Jest to istotne choćby dlatego, że 4 linijki niżej znajduje się bardziej ogólny, ważny wniosek, brzmiący „Wyniki symulacji i weryfikacji potwierdzają poprawność przyjętych założeń a zaproponowany algorytm sterowania od punktu do punktu zrealizowany w układzie hierarchicznym umożliwia sterowanie ruchem zdefiniowanej formacji zarówno w układzie wirtualnej struktury jak i śledzenia lidera”.

11. Ze względu na to, że każda symulacja wykonywana jest w oparciu o utworzony przy określonych założeniach i przeważnie z pewnymi uproszczeniami model matematyczny, jest ona obciążona błędem modelu. Na to nakładają się różnego rodzaju błędy obliczeń numerycznych. Dlatego szczególnie ważne jest wykonanie odpowiednich doświadczeń i pomiarów oraz analiz otrzymanych wyników. Szkoda, że opis wyników takiej weryfikacji eksperymentalnej zajmuje w monografii tylko ok. 4 strony (str. 143-146).

2.3.2. Uwagi dotyczące redakcji pracy

1. Zrozumienie tekstu monografii jest utrudnione m.in. z powodu tego, że szereg zmiennych jest zdefiniowanych na stronach dość odległych od miejsc, w których są one użyte we wzorach. „Wykaz ważniejszych oznaczeń” jest pomocny, ale wskazane byłoby też odwołania do odpowiednich stron monografii, do miejsc określenia zmiennych w treści podrozdziałów.

2. str. 11. , wiersz 27. od góry strony (str.11.g.27):

Zamiast:

„... funkcjach potencjałowych [75, 95] w przeciwieństwie do powstałych metod ...”
powinno być:

„... funkcjach potencjałowych [75, 95]. W przeciwieństwie do pozostałych metod ...”

3. str. 11. , wiersz 13. od dołu strony (str.11.d.13):

Zamiast: „różach” powinno być „różnych”.

4. str.11.d.11, str.11.d.8:

Zamiast: „zcentralizowane”, „zcentralizowana” powinno być odpowiednio „scentralizowane”, „scentralizowana”.

5. str.12.g.24: Niespójne z resztą tekstu cytowanie literatury [KSW04]. Podobne uchybienia pojawiają się także w wielu innych miejscach monografii, np.; str.14.d.1; str.40.g.5; str.45.g.7; str.53.d.1; str.54.g.6; str.54.g.11; str.54.g.17; str.54.g.20.

6. str.13.d.3-1: W zdaniu „W dużej mierze od inwencji konstruktorów i istniejącego zapotrzebowania, prezentowane rozwiązania znajdowały różnego typu zastosowanie.” czegoś chyba brakuje.

7. str.20.g.21:

Zamiast „Ich zwymiarowanie ...” powinno być „Ich wymiary ...”.

8. str.21.g.1-2:

Zamiast: „Pomiary tego typu charakteryzują się dużą szybkością i łatwość uzyskania położenia robota.” powinno być: „Pomiary tego typu charakteryzują się dużą szybkością i łatwością uzyskania informacji o położeniu robota.”.

9. str.44.g.11:

Zamiast „kół” powinno być „koła”.

10. str.46.d.21:

Zamiast „... równanie (IV.36) opisujące punkty H robotów 1 i. 4.” powinno być „... układ równań (IV.36) opisujących punkty H_i robotów 1 i. 4.”

11. Ze względu na to, że nie przewidziano podrozdziału IV.3.2, inna powinna być numeracja i poziom zagłębienia podrozdziałów rozdziału IV, tj.: IV.1, IV.2, IV.3, IV.4. Podobnie, ponieważ nie przewidziano podrozdziałów VI.1.2 oraz VI.2.2, inna powinna być numeracja i poziom zagłębienia podrozdziałów rozdziału VI, tj.: VI.1, VI.2, VI.3, VI.4.

12. Na stronach 54, 55 są przykłady różnego zapisu nazw równań Lagrange’a (Lagrang’a), Maggiiego (Maggi’ego), Appella (Appell’a). W nawiasach podano niewłaściwe lub mniej uzasadnione formy zapisu. Można się tu odwołać do „Encyklopedii PWN” i innych Wydawnictw książkowych. Niezależnie od powyższego, notacja powinna być w całej monografii jednolita.

13. str.57.d.8.:

Zamiast „... robota przyjęty w punkcie (V.2) ...” powinno być „... robota był przyjęty w punkcie (V.2) ...”.

14. Zapis równań oznaczonych (V.43) na str. 60 jest nieczytelny. Podobnie, czcionka we wzorach (V.48) jest również zbyt mała.

15. str.63.g.1.:

Zamiast „... z kołem napędzający jest ...” powinno być „... z kołem napędzającym jest ...”.

16. str.63.g.3.:

Zamiast „... liczbą parametrów przekładni umożliwiającej jej zamodelowanie.” powinno być „... liczbą parametrów przekładni umożliwiających jej zamodelowanie.”.

17. str.63.d.7-8.:

Zdanie „Opisywany robot jest konstrukcją złożoną o znanej masie lecz o nieznanym znanym jej rozłożeniu.” jest niejasne.

18. str.92.g.1.:

Zamiast „... w której minimalizacji dotyczy funkcja celu.” powinno być „... w której minimalizacja dotyczy funkcji celu.” lub „... w której minimalizacji podlega funkcja celu.”

19. str.92.d.5-6.:

Zamiast „Zaprezentowane rozwiązania realizacji elementarnego zachowania podążają do celu jest jednym z wielu możliwych rozwiązań.” powinno być „Zaprezentowane rozwiązania realizacji elementarnego zachowania „podążają do celu” są jednymi z wielu możliwych rozwiązań.”

20. Rysunki VIII.23 i VIII.25 nie powinny być podzielone między stronami.

21. str.109.g.1, 3, 14.:

Zamiast „... koordynacje ...”, „W zadania ...”, „Ograniczono do ...” powinno być „... koordynacji ...”, „W zadaniu ...”, „Ograniczono się do ..”.

22. Na str. 111 g.22-23 napisano, że na rys. VIII.30a pokazano m.in. współrzędne punktu A , x_A , y_A . W rzeczywistości na żadnym z wykresów na rys. VIII.30 nie pokazano współrzędnych punktu A .

23. str. 119.d.3.:

Zamiast „Czujniki odległości podzielono tak że: ...” zrzęcniej byłoby napisać „Czujniki odległości pogrupowano tak, że: ...”.

24. str. 123.d.5.:

Zamiast „*Bacward*” powinno być „*Backward*”.

25. str. 128.d.10.:

Zamiast „Lyapunowa” powinno być „Lapunowa”, które to nazewnictwo użyto np. na str. 152, 153.

26. str. 133.d.4-5.

Zamiast „... sterowanie robotami obsługującymi Arię, czyli obiektową bibliotekę klas ...” powinno być „... sterowanie robotami obsługiwanymi przez Arię, czyli obiektową bibliotekę klas ...”.

27. W wielu miejscach monografii pojawia się w różnych kontekstach słowo „generowanie” i jego odmiany. O ile „generowanie trajektorii” lub „generowanie sygnału” jest zrozumiałe, o tyle zwrot użyty na str. 151 w wierszu 12. od dołu „... mechanizmy generowania zachowań owadów ...” jest jednak mało czytelny.

28. W spisie cytowanej literatury występują dwie pozycje oznaczone numerem porządkowym 25. Druga z nich powinna mieć numer 26.

29. Rok wydania książki podanej w pozycji 48. jest błędny.

30. W wersji angielskiej streszczenia monografii z pewnością nie powinno być słów „the paper” (wiersze 7. i 9. od góry). Ponadto, w wierszu 8. od góry zamiast „... based on the example.” powinno raczej być „... based on selected examples.”, zaś w wierszu 14. zamiast

„... have been implemented ...” powinno być – zgodnie z dalszą częścią tekstu streszczenia – „... were implemented ...”.

2.3.3. Podsumowanie oceny rozprawy

Wymienione wyżej uwagi krytyczne nie zmieniają ogólnie pozytywnej oceny rozprawy. Moim zdaniem w przyszłych publikacjach warto jednak uwzględnić wynikające z tych uwag wnioski.

Oceniając ogólnie przedstawioną rozprawę habilitacyjną należy podkreślić aktualność podjętej w niej tematyki z punktu widzenia potrzeb sterowania formacją robotów, mającą za zadanie transport wielkogabarytowy. Rozprawa zawiera elementy, które można uznać za twórczy i istotny wkład Autora w rozwój dyscypliny *mechanika* w odniesieniu do modelowania i sterowania formacją mobilnych robotów kołowych. Autor przedstawia w kolejnych rozdziałach rozprawy rozważania teoretyczne, symulacje numeryczne oraz wyniki badań eksperymentalnych, systematycznie dążąc do celu i wykazania słuszności tezy rozprawy, określonych w podrozdziale 1.1. *Rozprawę habilitacyjną dr. inż. Andrzeja Burgharda oceniam pozytywnie.*

3. Ocena dorobku naukowego dydaktycznego i organizacyjnego

3.1. Ocena dorobku naukowego

W pracach badawczych po doktoracie Habilitant koncentrował uwagę na zagadnieniach dotyczących głównie:

1. modelowania i tworzenia nowych algorytmów analizy dynamiki i sterowania układów mechanicznych, określanych w literaturze fachowej z ww. zakresu anglojęzycznym zwrotem *underactuated systems*;
2. projektowania, wykonania i doskonalenia specjalizowanego środowiska kontrolno-pomiarowego obejmującego elementy aparatury kontrolno-pomiarowej i oprogramowanie do symulacji oraz zarządzania pracą tak pojedynczego mobilnego robota kołowego, jak i formacji mobilnych robotów kołowych;
3. modelowania i tworzenia nowych algorytmów sterowania mobilnym robotem kołowym z uwzględnieniem jego dynamiki oraz sterowania ruchem formacji robotów kołowych, zwłaszcza w kontekście transportu wielkogabarytowego.

Przykładem pierwszej grupy zagadnień rozważanych przez Habilitanta jest zadanie stabilizacji położenia kulki na belce, w rozwiązaniu którego zastosowano algorytmy adaptacyjne. W dociekaniach teoretycznych dot. ww. zadania zastosowano równania Lagrange’a II rodzaju, zaś synteza adaptacyjnego systemu sterowania została zrealizowana z uwzględnieniem wymagań zgodnych z teorią stabilności Lapunowa. Wyniki zostały opublikowane we współautorstwie z Prof. dr. hab. inż. Józefem Girgielem dr. h.c. multi. w artykule naukowym w periodyku *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, posiadającym 40 punktów na liście A MNiSW i współczynnik wpływu (Impact Factor) za 2013 r. wynoszący 2,57. W innych publikacjach autorstwa lub współautorstwa Habilitanta stosowano do budowy modeli dynamicznych oprócz równań Lagrange’a również równania Appella i równania Maggiego. W celu rozwiązania zdefiniowanych równań wykorzystywano m.in. transformację układu równań różniczkowo-algebraicznych do równań różniczkowych zwy-

czajnych, używając w tym celu metody rzutowej. Analizy teoretyczne oraz symulacje numeryczne zostały potwierdzone wynikami badań doświadczalnych.

W zadaniach dotyczących trzeciej grupy zagadnień Habilitant badał dynamikę mobilnych robotów kołowych i formułował algorytmy sterowania ruchem pojedynczego mobilnego robota kołowego oraz formacji robotów kołowych stosując m.in. sztuczne sieci neuronowe. W 5 pozostałych publikacjach, których Habilitant jest współautorem, znajdujących się w bazie Web of Science podejmowane są problemy:

- sterowania układów mechanicznych zwanych *underactuated systems* z użyciem sztucznych sieci neuronowych,
- neuronowego programowania dynamicznego układu sterowania w odniesieniu do układu mechanicznego kulki na belce,
- systemu sterowania siłą w obróbce mechanicznej wspomaganą robotem,
- kinematyki formacji robotów,
- adaptacyjnego sterowania formacją robotów w nieznanym środowisku.

W innych publikacjach przedstawione są zagadnienia dotyczące m.in. hierarchicznej struktury układu sterowania formacją mobilnych robotów kołowych, w najniższej warstwie którego zastosowano układ sterowania nadążnego, uwzględniający sztuczną sieć neuronową, używaną w celu kompensacji nieliniowych właściwości sterowanego obiektu. Wprawdzie większość publikacji umieszczonych przez Habilitanta w wykazie opublikowanych prac naukowych stanowią publikacje powstałe we współautorstwie z innymi badaczami, ale udział Habilitanta w analizowanych pracach był bardzo istotny.

Udokumentowany dorobek naukowy Habilitanta, po uzyskaniu stopnia naukowego doktora nauk technicznych, obejmuje – zgodnie z dostarczonym w dniu 27.06.2014 r. zaktualizowanym wykazem – 37 pozycji w tym 7 publikacji samodzielnych. W bazie Web of Science znajduje się 6 publikacji, jedna w ww. periodyku *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation* o współczynniku wpływu *Impact Factor* (IF) za 2013 r. równym 2,57 oraz 5 publikacji w zwartych wydawnictwach, których współczynnik wpływu IF w bazie Web of Science nie jest określony. Są to materiały opublikowane po konferencjach i sympozjach naukowych. Liczba pozostałych publikacji współautorstwa lub autorstwa Habilitanta w czasopismach krajowych z listy B MNiSW wynosi 13. Sumaryczna liczba punktów z tytułu autorstwa lub współautorstwa publikacji Habilitanta wynosi 207. W dwóch monografiach o zasięgu krajowym Habilitant był współautorem a jednej autorem. Są to następujące monografie:

- [1] Burghardt A., Hendzel Z.: *Sterowanie behawioralne mobilnymi robotami kołowymi*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2007. Udział Habilitanta 50%.
- [2] Hendzel Z., Żylski W., Burghardt A.: *Autonomiczne mobilne roboty kołowe, Mechatroniczne projektowanie i sterowanie*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2008. Udział Habilitanta 40%.
- [3] Burghardt A., *Sterowanie formacją robotów w nieznanym środowisku*, Rzeszów 2012. ISBN 978-83-62139-42-2. Udział Habilitanta 100%.

Ponadto Habilitant jest autorem lub współautorem:

publikacji w czasopismach krajowych	21,
publikacji w materiałach konferencyjnych	24, w tym:
w materiałach konferencyjnych zagranicznych	6
w materiałach konferencyjnych krajowych	21

Łączna liczba cytowań publikacji według bazy Web of Science wynosi 1, zaś Indeks Hirscha (h-index) również wynosi 1.

Habilitant był autorem zaproszonego referatu, wygłoszonego w trakcie posiedzenia Sekcji Dynamiki Układów Komitetu Mechaniki PAN.

Dr inż. Andrzej Burghardt po uzyskaniu stopnia naukowego doktora nauk technicznych brał udział jako wykonawca w dwóch projektach badawczych MNiSW. Ponadto był kierownikiem w projekcie finansowanym przez MNiSW. W projekcie INNOTECH finansowanym przez NCBiR był kierownikiem zadań. Tematyka ww. projektów wskazuje na to, że Habilitant stara się poszerzyć obszar swoich zainteresowań o wybrane zagadnienia technologii stosowanych w przemyśle lotniczym. Wskazują na to tytuły projektów badawczych:

1. Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym.
2. Optymalizacja i nadzór procesu obróbki skrawaniem cienkościennych zespołów silników lotniczych z zastosowaniem metod inteligencji obliczeniowej.
3. Opracowanie procesu zrobotyzowanego zatepiania krawędzi elementów o zmiennym kształcie stosowanych w silnikach lotniczych z wykorzystaniem systemu automatycznej adaptacji trajektorii narzędzia.

Miałem okazję obserwować wybrane rezultaty badań prowadzonych m.in. przez dr. inż. Andrzeja Burghardta w ramach 3. z ww. projektów badawczych, które oceniam wysoko.

Habilitant wykonał 5 opracowań naukowych dla przemysłu lub firm zewnętrznych, wykonał 1 recenzję projektu zgłoszonego do NCN i 1 recenzję pracy zgłoszonej do czasopisma *Journal of Mechanical Engineering Science*.

Wyniki pracy dr. inż. A. Burghardta zostały wyróżnione nagrodami. W szczególności Habilitant uzyskał, jako współautor, nagrodę za najlepszy artykuł na międzynarodowej konferencji *International Joint Conference on Computational Intelligence* w Barcelonie w 2012 r. Ponadto w roku 2006 otrzymał nagrodę naukową Rektora za pracę doktorską, zaś w 2013 r. nagrody naukowe Rektora Politechniki Rzeszowskiej, indywidualną i zespołową, za działalność naukową. Habilitant posiada Brązowy Krzyż Zasługi za wkład na rzecz rozwoju nauki, przyznany w 2012 r.

Wprowadzie wskaźniki bibliograficzne związane z międzynarodowymi publikacjami Habilitanta nie są duże, jednak poziom naukowy licznych publikacji należy uznać za dobry. Aktywność Habilitanta na polu prezentacji wyników badań naukowych zarówno w kraju jak i za granicą wskazuje na Jego ugruntowaną pozycję w zakresie tematycznym objętym publikacjami Jego autorstwa lub współautorstwa.

3.2. Ocena dorobku dydaktycznego i organizacyjnego

Dr inż. Andrzej Burghardt prowadził zajęcia dydaktyczne z 12 przedmiotów:

1. Mechanika ogólna
2. Komputerowe przetwarzanie obrazów
3. Systemy wizyjne
4. Manipulatory i roboty mobilne
5. Modelowanie robotów
6. Modelowanie i identyfikacja
7. Podstawy robotyki

8. Programowanie robotów
9. Języki programowania robotów
10. Systemy czasu rzeczywistego
11. Komputerowe sieci przemysłowe
12. Serwisowanie robotów

Habilitant wypromował 18 absolwentów studiów jednolitych, 28 po studiach inżynierskich i 8 po studiach magisterskich. Prowadził zajęcia w ramach programu ERASMUS z przedmiotu „Programowanie robotów”. Dr inż. Andrzej Burghardt pełnił obowiązki opiekuna Koła Naukowego Robotyki w latach 2005-2006 oraz był opiekunem Koła w latach 2008-2011. Dyplomanci Habilitanta i jednocześnie członkowie Koła Naukowego Robotyki zajęli I i III miejsca w ogólnopolskim Konkursie Programowania Robotów ABB. Poinformowało o tym branżowe czasopismo „Dzisiaj” 2010/11. Habilitant brał także udział w pracach związanych z uruchomieniem kierunków studiów Mechatronika, oraz Automatyka i Robotyka. Ponadto brał udział w przygotowaniu zajęć laboratoryjnych z 13 przedmiotów:

1. Komputerowe przetwarzanie obrazów
2. Systemy wizyjne
3. Eksploatacja i serwisowanie urządzeń mechatronicznych
4. Systemy czasu rzeczywistego
5. Modelowanie manipulatorów i robotów
6. Sygnały i Systemy Dynamiczne
7. Sterowniki przemysłowe
8. Modelowanie i identyfikacja
9. Manipulatory i roboty mobilne
10. Języki programowania robotów
11. Programowanie robotów
12. Dynamika i symulacja układów mechanicznych
13. Komputerowe sieci przemysłowe

W ramach prac organizacyjnych Habilitant doposażył od podstaw pracownię systemów wizyjnych. Był też autorem koncepcji doposażenia pracowni Robotyki oraz Mechatroniki.

W latach 2008-2012 dr inż. Andrzej Burghardt był członkiem obserwatorem Komitetu TMM, Komitetu Budowy Maszyn PAN a od roku 2012 jest członkiem Sekcji Dynamiki Układów Komitetu Mechaniki PAN.

Działalność dydaktyczną i organizacyjną Habilitanta oceniam jako dobrą.

4. Wniosek końcowy

Na podstawie analizy rozprawy habilitacyjnej, oceny dorobku naukowego, dydaktycznego i organizacyjnego stwierdzam, że dr inż. Andrzej Burghardt spełnia wymogi sformułowane w art. 16 ust. 1 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. Nr 65, poz. 595 – z późniejszymi zmianami i rozporządzeniami), stawiane kandydatom do stopnia naukowego doktora habilitowanego nauk technicznych w dyscyplinie *mechanika*. Wnioskuje o przystąpienie do kolejnych, określonych w ustawie, etapów procedury habilitacyjnej.