

## RECENZJA

rozprawy habilitacyjnej oraz dorobku naukowego, dydaktycznego i organizacyjnego  
dr inż. **Andrzeja Burghardta**  
w związku z postępowaniem o nadanie stopnia doktora habilitowanego.

Recenzję opracowano na zlecenie Dziekana Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej nr RM/ 531-04-03/2014 Dr hab. inż. Jarosława Sępa, Profesora Politechniki Rzeszowskiej poprzedzonej decyzją Centralnej Komisji do Spraw Tytułów nr VI-T-5132/2014.

Opinię przygotowałem na podstawie dostarczonych dokumentów: dowodu uzyskania stopnia naukowego doktora nauk technicznych, autoreferatu, wykazu opublikowanych prac naukowych, wykazu pozostałych osiągnięć, kopii wybranych publikacji (12 pozycji), rozprawy habilitacyjnej wydanej przez Oficynę Wydawniczą Politechniki Rzeszowskiej oraz załączników (5 szt.).

### 1. OCENA ROZPRAWY HABILITACYJNEJ

Andrzej Burghardt: *Modelowanie i sterowanie formacją robotów*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2013.

#### 1.1. Uwagi wstępne

Opiniowana rozprawa liczy 165 stron, i jest podzielona na 11 rozdziałów: I. Wprowadzenie; II. Wybrane aspekty mobilnej robotyki; III. Inteligentne systemy obliczeniowe; IV. Kinematyka mobilnych robotów kołowych; V. Dynamiki mobilnego robota kołowego; VI. Sterowanie nadążne ruchem lidera formacji; VII. Metody sterowania formacją robotów; VIII. Elementarne zadania lidera formacji lidera robotów i ich koordynacja; IX. Sterowanie formacją robotów w nieznanym środowisku; X. Badania eksperymentalne; XI. Podsumowanie. Ponadto praca zawiera Wykaz ważniejszych oznaczeń, Literaturę (138 pozycji); Streszczenia w języku polskim i angielskim.

#### 1.2. Charakterystyka ogólna rozprawy

Autor sformułował cel pracy jako opracowanie algorytmów sterowania ruchem formacji robotów mobilnych realizujących złożone zadania w nieznanym środowisku. Zakres pracy obejmuje następujące zagadnienia:

- podstawy teoretyczne robotyki mobilnej i tzw. inteligentnych systemów obliczeniowych opracowane na podstawie różnych pozycji piśmiennictwa, w tym także prac Autora,
- opis kinematyki i dynamiki robota mobilnego z uwzględnieniem dynamiki napędów i identyfikacji modelu,
- algorytmy sterowania adaptacyjnego robotem mobilnym,

- algorytmy sterowania formacją robotów,
- opis weryfikacji eksperymentalnej algorytmów sterowania formacją robotów.

Większość algorytmów prezentowanych w pracy ilustrowana jest wynikami badań symulacyjnych w środowisku MATLAB/SIMULINK z zastosowaniem narzędzi przygotowanych przez Habilitanta.

Przytoczony spis zagadnień skłania do komentarza, że zakres pracy jest bardzo szeroki i obejmuje niemal całość zagadnień omawianych zwykle w podręcznikach modelowania i sterowania mobilnych robotów kołowych. Taka zawartość merytoryczna utrudnia miejscami analizę wyników, ponieważ niektóre fragmenty pracy są nadmiernie rozbudowane kosztem bardziej istotnych. Np. rozdział II.1 i część II.2 (np. zagadnienie nagrzewania silników prądu stałego) mogłyby być pominięte, a rozdział dotyczący stanu wiedzy (I.2) rozbudowany. Weryfikacja eksperymentalna została właściwie zarysowana, podczas gdy ma duże znaczenie z punktu widzenia oceny poprawności działania rozwijanych metod. Sugerowałbym także uzupełnienie tytułu o słowo „kołowych”, ponieważ nie jest dostatecznie uzasadnione, czy prezentowane wyniki mogą być przeniesione na inne rodzaje robotów – w tym np. na modelowanie formacji bezzałogowych statków powietrznych, których specyfika jest odmienna.

Kwestie te nie zmieniają jednak mojej oceny, że cel rozprawy został dobrze dobrany, prawidłowo sformułowany i rozwiązany. Można stwierdzić, że podjęty cel i teza rozprawy, sformułowane w rozdziale I.1 oraz zakres pracy i przyjęte metody rozwiązania postawionego zadania odpowiadają aktualnemu stanowi wiedzy.

### **1.3. Szczegółowa charakterystyka rozprawy**

W rozdziale I Autor sformułował cel rozprawy oraz tezę pracy, przedstawił także przegląd literatury w zakresie tematyki rozprawy. Biorąc pod uwagę duże spektrum zagadnień analizowanych w rozprawie oraz stan wiedzy na ten temat, jest on bardzo ubogi.

W rozdziale II Autor przedstawił wybrane zagadnienia robotyki mobilnej. Zawiera on ogólny opis zasad i narzędzi tzw. mechatronicznego projektowania i także aktorów i sensorów stosowanych w robotach mobilnych. Część 3 tego rozdziału zawiera informację na temat algorytmów i układów sterowania stosowanych w robotach mobilnych i w mojej ocenie mogłaby być bardziej obszerna kosztem pominięcia niektórych fragmentów 1.

Rozdział III zawiera przekaz podstawowych informacji na temat inteligentnych systemów obliczeniowych. Autor krótko scharakteryzował dwie dziedziny sztucznej inteligencji: sztuczne sieci neuronowe, układy z logiką rozmytą oraz ponadto adaptacyjne programowanie dynamiczne. Rozdział ma charakter krótkiego kompendium wiedzy na powyższe tematy przydatne w rozumieniu treści przedstawianych w rozprawie.

Rozdział IV zawiera opis kinematyki robotów mobilnych bez i z kołem podpierającym. Rozszerzeniem tego opisu jest przedstawiona kinematyka formacji robotów oraz jej symulacja w środowisku MATLAB/SIMULINK.

Rozdział V zawiera sformułowanie równań dynamiki robota mobilnego w układzie z kołem podpierającym i bez tego koła wyprowadzonych z równań Lagrange'a, Appella oraz Maggie'ego. Siły tarcia suchego eliminowane są z równań Appella z zastosowaniem macierzy projekcji. W rezultacie otrzymany układ równań stanowi układ RRZ. Autor uzupełnił układ równań o dynamikę napędów oraz zaproponował algorytm identyfikacji parametrów modelu.

Równania dynamiki robota zapisane w tym rozdziale wykorzystano w syntezie adaptacyjnego układu sterowania nadążnego. W procesie adaptacji wykorzystano sztucznie sieci

neuronowe. Szczegóły związane z syntezą układu sterowania nadążnego robota mobilnego wraz z wynikami symulacji tego układu przedstawiono w rozdziale VI.

W rozdziale VII przedstawiono zagadnienia sterowania formacją robotów. Układ sterowania ma strukturę hierarchiczną. Proponuje się sterowanie z zastosowaniem znanych z piśmiennictwa algorytmów wirtualnej struktury oraz metodą śledzenia lidera. Autor przedstawił także rezultaty symulacji sterowania formacji robotów z zastosowaniem wymienionych algorytmów.

W rozdziale VIII Autor przedstawił algorytmy sterowania behawioralnego przy realizacji trajektorii podążania wzdłuż ściany, omijania przeszkody oraz osiągnięcia zdefiniowanego punktu w przestrzeni. W realizacji tych trajektorii wykorzystano znane algorytmy Braitenberga, układów z logiką rozmytą oraz sieci neuronowej Kohonena.

Rozdziały IX i X przedstawiają propozycję rozwiązania układu sterowania formacją robotów w zadaniu osiągnięcia celu w nieznanym środowisku z elementami omijania przeszkód. Autor stosuje metodę sztucznych potencjałów w zagadnieniu omijania przeszkód. Dla uniknięcia problemów związanych z minimami lokalnymi w polu potencjalnym Autor proponuje zastosowanie sztucznych sieci neuronowych. W rozdziale X przedstawiono emulatory pracy robotów mobilnych oraz środowisko kontrolno-pomiarowe zbudowane przez Autora.

Rozdział XI zawiera podsumowanie rozprawy.

#### **1.4. Uwagi o charakterze krytycznym lub dyskusyjnym**

##### **1.4.1. Uwagi ogólne**

Uwagi sformułowalem w kolejności zagadnień analizowanych w pracy.

1. Zakres tematyczny rozprawy jest bardzo szeroki, stąd znaczną pomocą w analizie wyników może być przegląd stanu wiedzy zamieszczony w rozdziale 1.2 pracy. Przy dużej liczbie pozycji cytowanych w rozprawie (138 pozycji) spośród publikacji bezpośrednio związanych z tematem rozprawy cytowanych przez Autora i niebędących jego autorstwa ani autorstwa badaczy współpracujących z Autorem w ośrodkach krajowych, nie znalazłem ani jednej opublikowanej w okresie ostatnich 10 lat. Tematyka rozprawy jest aktualna; piśmiennictwo z tematu rozprawy pochodzące z międzynarodowych ośrodków robotycznych jest obszerne i dokumentuje postęp w różnych dziedzinach sterowania formacją (metody grafowe, zdecentralizowanych i hybrydowych algorytmów sterowania, metod samolokalizacji, dopuszczanie poślizgów kół w modelach etc.). Jako przykład nowszych prac w tematyce rozprawy można np. wskazać (niezbyt precyzyjnie) piśmiennictwo w pracy (1) bez analizowania tej kwestii merytorycznie. W konsekwencji mam wątpliwości, co do aktualności cytowanego stanu wiedzy; w minimalnym ujęciu piśmiennictwo i stan wiedzy w pracy warto by, zatem, uzupełnić o nowsze pozycje lub odnieść się do wyników nowszych prac.
2. W rozdziale IV Autor przedstawił zagadnienia kinematyki mobilnych robotów kołowych, w tym opis kinematyki formacji robotów przy wykonywaniu zadania transportu bryły. W rozdziale XI Autor wskazał, (jeśli poprawnie odczytałem element nowości – jeśli nie proszę o korektę), że ten fragment rozprawy jest jednym z głównych autorskich osiągnięć Habilitanta. W mojej ocenie rozdział ten zawiera dobrze znane treści, jeśli chodzi o opis kinematyki robota nieholonomicznego, natomiast zadanie transportu (elementy zadania odwrotnego kinematyki) Autor sprowadził do realizacji nadążnej przez roboty znanych trajektorii wyznaczonych przez trajektorie punktów na transportowanym obiekcie

(połączenie robotów z obiektem parami V klasy). Trudno mi zatem dostrzec elementy nowości w tym podejściu. Model z elementami kontaktu byłby bardziej interesujący. Zadanie sformułowano dla układu  $n$  – robotów a zilustrowano dla 4, co pozwala postawić pytanie o sposób wyboru równań IV.36 i IV.37 dla dowolnego  $i$ -tego robota.

3. Rozdział V rozprawy dotyczy modelowania dynamiki kołowego robota mobilnego. W posumowaniu rozprawy na str. 155 (oraz podobnie w kilku innych miejscach pracy) Autor podkreśla, że jednym z głównych elementów nowości pracy jest... *zastosowanie do modelowania układów mechanicznych równań Appella i metody rzutowej*. W konsekwencji zastosowania tej metody otrzymuje się układ równań różniczkowych zwyczajnych pozbawionych nieznanymi sił tarcia suchego.

Sprawa zastosowania różnych formalizmów do konstrukcji równań ruchu złożonych układów ciał powiązanych zarówno więzami holonomicznymi jak i nieholonomicznymi jest od kilkudziesięciu lat przedmiotem dyskusji licznych ośrodków badawczych (poniżej cytuję jedną z dobrych przeglądowych prac na ten temat (2)). Zastosowanie znajdują równania Lagrange'a, Hamiltona, Maggi'ego, Kane'a etc. Duża część z nich prowadzi do konieczności całkowania numerycznego równań różniczkowo-algebraicznych - w tym jako z jedną metod rozwiązywania wskazuje się procedurę transformacji równań RRA do RRZ. W tym zakresie używa się metod redukcji indeksu równania, dopełnień ortogonalnych, pseudoinwersji, oraz metody rzutowej w sensie definiowanym w pracach Blajera na ten temat (w rozprawie oznaczona [18]).

Czy Autor może wyjaśnić:

- Jakie korzyści przynosi zastosowanie wskazanej metody modelowania układów mechanicznych w zestawieniu z innymi metodami wymienionym powyżej? W szczególności jakie korzyści przynosi metoda w zastosowaniu do opisu prostego modelu dynamiki ruchu robota mobilnego (płaski układ trzech członów z niewielką liczbą więzów), w porównaniu z równaniami Lagrange'a biorąc pod uwagę, że nakład pracy na formułowanie równań jest mały, a postać końcowa równoważna?
- Metodę rzutową zastosowano w pracy dla układu nieholonomicznego. Czy metoda ta jest równie skuteczna, jeśli w równaniach więzów pojawią się równania więzów holonomicznych (np. przy opisie dynamiki robota mobilnego z zainstalowanym manipulatorem klasycznym)?  
Niezależnie muszę sformułować w tym punkcie uwagę, że przy czytaniu rozdziału V miałem trudności w ocenie, bez samodzielnego wyprowadzenia, które równania ruchu napisane są poprawnie. I tak w równaniach ruchu Lagrange'a (V.5) w rozdziale V.1 pojawia się symbol  $m_4$  przy założeniu, że analizuje się układ bez koła 4 i oporów toczenia tego koła. Pojawia się też osiowy moment bezwładności chyba tego koła. W równaniach Maggi'ego w rozdziale V.3 nie znajduję z kolei masy i momentu bezwładności ramy robota (czy to jest poprawny wynik?). Następnie w rozdziale V.4 metodę rzutową Autor zastosował przy zapisie równań w czterowymiarowym wektorze prędkości, podczas gdy wcześniejsze rozważania dotyczą wektora pięciowymiarowego. Przypuszczam, że chodzi o zapis prędkości w układzie lokalnym, ale w takim razie należałoby fakt ten zaznaczyć i pokazać równania ruchu zapisane w tych prędkościach.  
W konsekwencji wymienione niejasności skłaniają mnie do sformułowania prośby o komentarz:
- Czy równania ruchu robota zapisane po zastosowaniu metody rzutowej we współrzędnych/prędkościach niezależnych powinny być opisane tymi samymi

zależnościami niezależnie od tego czy wyprowadzono je z równań Lagrange'a, Maggie'go (tutaj redukcja jest niepotrzebna) czy Apella?

4. W rozdziałach VI do IX (70 stron) Autor przedstawił algorytmy sterowania nadążnego robotem mobilnym oraz algorytmy sterowania formacją robotów o strukturze hierarchicznej. Najważniejsze z treści w mojej ocenie zawarto w rozdziałach VI i IX, przy czym rozdział VI zawiera treści szeroko omówione już w pozycji [45]. Rozdziały VII i VIII w zakresie sterowania formacją zawierają w dużych fragmentach treści znane z piśmiennictwa. Przedstawione algorytmy sterowania robotami i formacją weryfikowane (rozdziały VI i IX) są głównie metodą symulacji komputerowej w środowisku programowym opracowanym na bazie systemów MATLAB/SIMULINK. Wyniki symulacji obarczone są w sposób naturalny błędami i niepewnościami wynikającym z przyjętych założeń modelowych widocznych np. w uproszczonym modelu dynamiki robota (brak modeli przekładni, uproszczony model tarcia, które może się zmieniać, brak symulacji niepewności pomiaru układu pomiarowego etc.). Niektóre z algorytmów sterowania adaptacyjnego wykorzystują rozwiązanie odwrotnego zadania dynamiki tego samego modelu, który reprezentuje dynamikę robota w zadaniu prostym. Wobec powyższego istotną rolę w ocenie poprawności działania rozwijanych metod pełnią wyniki eksperymentu, którym autor poświęcił rozdział X rozprawy. Ten rozdział, w mojej ocenie, ma istotne znaczenie w ocenie skuteczności opracowanych metod. Tymczasem w rozdziale tym (16 str.) znalazłem jedynie 4 strony dotyczące weryfikacji algorytmów; szereg informacji ważnych dla oceny eksperymentalnej przyjętych rozwiązań pominięto.

W tym np.:

- w niektórych przypadkach trudno ocenić, które wyniki przedstawione na wykresach od X.14 do X.17 pochodzą z eksperymentu, a które są wynikami symulacji (wykres X.17 jest opisany jako symulacja, a tytuł sugeruje weryfikację eksperymentalną),
  - nie określono, jaki jest podział ról w realizacji sterowania adaptacyjnego pomiędzy komputer nadrzędny i sterownik zainstalowany na robocie, ani który z elementów realizuje funkcję regulatora PD; trudno ocenić jak często wysyłane są sygnały sterujące w sterowaniu dyskretnym i czy w związku z tym sieć bezprzewodowa TCP/IP jest odpowiednim wyborem transmisji (opóźnienia)
  - brakuje informacji, co do systemu nawigacji i lokalizacji robotów w formacji i oceny dokładności realizacji trajektorii w formacji,
  - przydatna mogłoby być porównanie skuteczności regulatorów konwencjonalnych i z zastosowaniem kompensacji nieliniowości zwłaszcza w stanach nieustalonych ruchu formacji, przy różnych trajektoriach i zakłóceniach (np. zmiana współczynnika tarcia albo nierówności powierzchni) realizowanych przez formację robotów np. w zakresie wskazanym w pracy [45], cytowanej w rozprawie; brakuje wniosków jakościowych
- W podsumowaniu tej uwagi należy stwierdzić, że Autor zminimalizował prezentację wyników badań eksperymentalnych, chyba ze szkodą dla rozprawy, tym bardziej, że w podsumowaniu rozprawy Autor uznaje, że algorytmy sterowania *zostały zweryfikowane na obiektach rzeczywistych*. Powyższych moich wątpliwości nie rozstrzygają także prace na ten temat załączone do dokumentacji dorobku Habilitanta.

5. W przedstawionych w wielu miejscach pracy wynikach badań symulacyjnych, niektóre z przebiegów mają charakter „piłkarski” w przyjętej skali wykresów, co sugeruje

wysokie wartości kolejnych pochodnych. Na przykład na rysunku X.11e pokazano przyspieszenia kątowe kół, które mają wartości nieskończone. W ogólnym przypadku oznacza to konieczność przykładania nieskończonych momentów w rozwiązaniu symulacyjnym zadań dynamiki. Czy przyjęte modele dynamiki uwzględniają ograniczenia w napędach na rozwijane momenty (prądy)? Czy sytuacja to odpowiada rzeczywistości? Podobnie z przyjętych strategii omijania przeszkód wynika, że roboty poruszają się ze skokowymi zmianami prędkości kątowych (rys. VIII.30) – to z kolei może mieć wpływ na poprawność modelu tarcia i modelu w całości. Proszę o komentarz.

Cytowane w recenzji piśmiennictwo:

- (1) Cai Ze-su et al: *Formation Control and Obstacle Avoidance for Multiple Robots Subject to wheel-Slip. International Journal of Advanced Robotic Systems OAA (wolny dostęp), 2012*
- (2) BAUCHAU, A.O. AND LAULUSA, A. *Review of Classical Approaches for Constraint Enforcement in Multibody Systems. Journal of Computational and Non Linear Dynamics (2007).*

#### 1.4.2. Uwagi drobne

Zauważyłem następujące szczegółowe niedociągnięcia edytorskie pracy:

- Niekonsekwencja w odwołaniach do literatury (np. [Bla98] albo [18])
- Niejednolitość zapisów (*Maggi'ego, Maggiego*)
- Przy rysunkach VI.3 i VI.7 zły podział na strony
- Na stronie 117 w akapicie 2 użyto określenia „obecnie” wobec publikacji z lat 1991, 1998 i 2004. To chyba przesada
- Podpis pod rys. IX.14 się z tekstem akapitu
- Str 133, 2 akapit – to raczej biblioteka Aria obsługuje roboty (jest użyta do sterowania nimi), a nie na odwrót
- Czy zaprezentowana kopia ekranu (rys. X.3) to jest interfejs użytkownika biblioteki Aria, czy interfejs jednego z jej programów demonstracyjnych?
- Str. 139 – chyba po raz pierwszy Autor wspomina o tworzeniu mapy otoczenia. Nie wiadomo, jak ma być tworzona i do jakich celów. Systemy behawioralne zakładają brak mapy.
- Rys. na str. 130 powinien mieć nr IX.11, a nie X.11
- Rys. X.10a – czy krzywa jest klasy  $C^2$  ?; ponadto w wielu podręcznikach określając klasę podaje się w jakim zbiorze
- Niejednolite formatowanie, literówki, tytuły podrozdziałów formatowane tak samo niezależnie od stopnia zagnieżdżenia

#### 1.5. Ogólna ocena rozprawy

Opiniowana rozprawa stanowi podsumowanie prac Autora prowadzonych w okresie ostatnich kilkunastu lat, a wyniki tych prac mogą mieć zastosowanie w praktyce. Jest cenną, zwłaszcza w obszarze krajowym, monografią obejmującą zagadnienie sterowania formacją robotów. Ze względu na liczne zastosowania w różnych dziedzinach, sterowanie formacją robotów znajduje się w obszarze badań wielu ośrodków światowych. Wzmacnia to moje przekonanie, że badania Habilitanta mają duże znaczenie praktyczne i są wartościowe.

Do osiągnięć Autora można m.in. zaliczyć:

- całościowe opracowanie (syntezę) algorytmów sterowania formacją robotów z możliwością omijania przeszkód w nieznanym środowisku i z rozwiązaniem problemów wynikających z istnienia minimów lokalnych w metodzie sztucznego potencjału; Autor wykorzystał w pracy narzędzie sztucznych sieci neuronowych i adaptacyjne programowanie dynamiczne,
- przedstawienie nowatorskiego algorytmu unikania minimów lokalnych przez formację robotów w omijaniu przeszkód z zastosowaniem sieci neuronowych samoorganizujących się i mechanizmem wyłaniania neuronu zwycięskiego w procesie uczenia
- propozycję zastosowania w formułowaniu równań dynamiki kołowych robotów mobilnych równań Appella wspólnie z metodą rzutową (z uwzględnieniem uwag podanych wyżej)
- propozycje algorytmów rozwiązania zadania odwrotnego kinematyki formacji robotów w zastosowaniach rzeczywistych (transporcie obiektów).

Wymienione wyżej uwagi krytyczne mają charakter dyskusyjny i mogą być uwzględnione w następnych publikacjach. Rozprawa ma niewątpliwe walory metodyczne, poznawcze i użyteczne i zawiera własny wkład Habilitanta.

W podsumowaniu przedstawioną rozprawę oceniam dobrze i uważam, że rozprawa habilitacyjna dr inż. Andrzeja Burghardta spełnia wymagania odpowiedniej Ustawy stawiane rozprawom habilitacyjnym.

## 2. OCENA DOROBKU NAUKOWEGO, DYDAKTYCZNEGO I ORGANIZACYJNEGO

### 2.1. Ocena dorobku naukowego

Prace badawcze Habilitanta koncentrowały się, po uzyskaniu stopnia doktora wokół dwóch zasadniczych grup zagadnień. Można je scharakteryzować następująco.

Pierwsza grupa badań Kandydata dotyczyła modelowania i opracowania nowych algorytmów analizy dynamiki i sterowania układów mechanicznych, określanych w piśmiennictwie anglojęzycznym jako *underactuated systems*. Autor przedstawił wyniki badań nad tymi zagadnieniami w szczególności na przykładzie analizy układu kula belka, gdzie zadanie polegało na stabilizacji położenia kuli na belce w szeregu prac. Dla realizacji tego zadania Habilitant zaproponował algorytmy adaptacyjne m.in. z zastosowaniem sztucznych sieci neuronowych. Przedstawione wyniki teoretyczne weryfikował badaniami eksperymentalnymi. W budowie modeli dynamicznych Habilitant stosował równania Lagrange'a, równania Appella oraz równania Maggi'ego. W rozwiązaniu tych równań zastosował odmianę metody rzutowej do transformacji układu równań różniczkowo-algebraicznych do równań różniczkowych zwyczajnych. Pomysł z zastosowaniem macierzy projekcji przeniesiono następnie do modelowania kołowych robotów mobilnych z różnymi układami kół i z uwzględnieniem dynamiki napędów robotów w równaniach ruchu.

Druga grupa zagadnień, na której koncentrują się badania kandydata dotyczy modelowania i sterowania ruchem formacji robotów kołowych. Autor zbudował, dla potrzeb sterowania formacją, układ sterowania o strukturze hierarchicznej z elementami architektury równoległej na najwyższym poziomie układu hierarchicznego. Na najniższym poziomie układu sterowania Kandydat zastosował układ sterowania nadążnego robotem mobilnym z zastosowaniem sztucznej sieci neuronowej do kompensacji nieliniowości obiektu. W zakresie

sterowania formacją na poziomie centralnym Kandydat prowadził prace badawcze nad algorytmami wirtualnej struktury oraz podążania za liderem. Ze względu na to, że sterowanie formacją robotów wymaga omijania przeszkód, Kandydat przedstawił zastosowania w tym zakresie metody potencjałów z koncepcją zastosowania sztucznych sieci neuronowych do unikania minimów lokalnych i następnie alternatywne rozwiązanie w postaci koncepcji tzw. Neuronowego Programowania Dynamicznego. Dla walidacji opracowanych algorytmów Kandydat zbudował środowisko szybkiego prototypowania przeznaczone do monitorowania i sterowania pracą grupy 256 robotów.

Dokonując oceny ilościowej oceny dorobku naukowego habilitanta, na podstawie załączonej dokumentacji w okresie po obronie pracy doktorskiej (2005), należy wymienić następujące publikacje Habilitanta: 3 monografie (w tym 2 współautorskie), 3 współautorskie publikacje w czasopiśmie z listy JCR (lista A w punktacji MNiSW), 3 współautorskie publikacje zamieszczone w materiałach pokonferencyjnych wydawnictwa Springer indeksowane w WoS (10 pkt zgodnie z wytycznymi MNiSW - dwie z nich Kandydat podaje je jako czasopisma w *Wykazie opublikowanych prac naukowych*), 13 publikacji w czasopiśmie krajowych (niektóre w anglojęzycznych) z listy B MNiSW oraz 22 (łącznie z okresem przed uzyskaniem stopnia doktora) w materiałach konferencji krajowych i zagranicznych; w tym Habilitant opublikował 7 prac samodzielnych. W dokumentacji dorobku Habilitant załączył informację o swoim udziale procentowym w pracach. Jeśli chodzi o wskaźniki bibliometryczne Kandydata, brane ostatnio pod uwagę przy recenzowaniu dorobku i przy ocenie projektów badawczych, są one następujące: łączna liczba cytowań wynosiła odpowiednio według baz WoS, Scopus i Google Scholar 1 (1), 4 (9) i 12 (19); indeksy Hirscha odczytane z bazy WoS i Scopus wynosiły odpowiednio 1 (1) i 1 (2). Dane powyższe pochodzą z wykazu osiągnięć habilitanta – dokumentu otrzymanego w dokumentacji.

Należy podkreślić, że w okresie od złożenia dokumentów przez Habilitanta, do chwili przygotowania niniejszej recenzji Habilitant powiększył dorobek o dwie istotne prace opublikowane w czasopiśmie z listy B MNiSW (10 pkt). W uzupełnieniu aktualne liczby cytowań i indeksy H podano powyżej w nawiasach „( )”.

Dr inż. Andrzej Burghardt brał udział w dwóch projektach badawczych jako wykonawca przed uzyskaniem stopnia doktora, natomiast po uzyskaniu stopnia doktora był wykonawcą w dwóch projektach MNiSW, oraz kierownikiem w projekcie finansowanym przez MNiSW i kierownikiem zadań w projekcie INNOTECH finansowanym przez NCBiR.

Habilitant wykonał 1 recenzję pracy zgłoszonej do czasopisma *Journal of Mechanical Engineering Science* oraz jednokrotnie był recenzentem projektu zgłoszonego do NCN. Wykonał 5 opracowań naukowych dla przemysłu lub firm zewnętrznych. Był autorem referatu zaproszonego w trakcie posiedzenia Sekcji Dynamiki Układów Komitetu Mechaniki PAN (który miałem okazję wysłuchać).

Habilitant uzyskał, jako współautor nagrodę za najlepszy artykuł na ważnej *International Joint Conference on Computational Intelligence* w Barcelonie. Otrzymał w roku 2006 nagrodę naukową Rektora Politechniki Rzeszowskiej za pracę doktorską. Posiada Brązowy Krzyż Zasługi za zasługi na rzecz rozwoju nauki, który otrzymał w roku 2012. W ostatnim czasie (rok 2013) otrzymał nagrody naukowe Rektora indywidualną i zespołową za działalność naukową.

Na podstawie analizy prac naukowych zamieszczonych w wykazie dorobku oraz analizy ilościowej można sformułować ocenę, że Kandydat reprezentuje silny ośrodek krajowy w prezentowanej tematyce, natomiast międzynarodowa pozycja naukowa Kandydata, zwłaszcza jeśli za ważny miernik tej pozycji uznać wskaźniki bibliometryczne, jest słabsza.



W podsumowaniu uważam, że dorobek naukowy Habilitanta upoważnia do sformułowania pozytywnego wniosku o dopuszczenie do kolokwium habilitacyjnego.

## **2.2. Ocena dorobku organizacyjnego i dydaktycznego.**

W dokumentacji dorobku Habilitanta nie odnalazłem nazw ważniejszych wykładów, które Habilitant prowadził. Habilitant wypromował 18 absolwentów studiów jednolitych, 28 inżynierów po studiach inżynierskich oraz 8 po studiach magisterskich. Prowadził zajęcia w ramach programu ERASMUS.

Dr inż. Andrzej Burghardt pełnił obowiązki opiekuna Koła Naukowego Robotyki oraz był opiekunem Koła w latach odpowiednio 2005-2006 i 2008-2011. Dyplomanci Habilitanta i jednocześnie członkowie Koła Naukowego Robotyki zajęli I i III miejsce w ogólnopolskim Konkursie Programowania Robotów ABB. Informacja na ten temat znalazła się w czasopiśmie branżowym (nazwa czasopisma „Dzisiaj” 2010/11). Habilitant brał także udział w pracach związanych z uruchomieniem kierunków studiów Mechatronika, oraz Automatyka i Robotyka.

Dr inż. Andrzej Burghardt prowadzi także działalność organizacyjną. W latach 2008-2012 był członkiem obserwatorem Komitetu TMM, Komitetu Budowy Maszyn PAN. a od roku 2012 pełni rolę członka Sekcji Dynamiki Układów Komitetu Mechaniki PAN. Posiada osiągnięcia organizacyjne w zakresie rozbudowy pracowni Katedry Mechaniki Stosowanej i Robotyki na Wydziale. Prace związane z tą rozbudową zostały zauważone i docenione – na ten temat pojawiły się artykuły w czasopismach branżowych („Dzisiaj” 2009/27 oraz w „Maszyny, Technologie, Materiały”). Habilitant jest także aktywny w zakresie przygotowywania i wspomagania zajęć laboratoryjnych z wielu przedmiotów. Dbą także o zdobywanie praktycznych umiejętności w obsłudze urządzeń robotycznych, czego dowodem są certyfikaty szkoleń.

W podsumowaniu uważam, że działalność Kandydata w zakresie dydaktyki jest dobra, a działalność organizacyjna jest wystarczająca do sformułowanie pozytywnego wniosku o dopuszczenie do kolokwium habilitacyjnego.

## **3. WNIOSEK KOŃCOWY**

Analiza rozprawy habilitacyjnej i dorobku naukowego dr inż. Andrzeja Bughardta wykazuje, że habilitant posiada dorobek naukowy w zakresie mechaniki, który spełnia wymagania art.16 i art.17 *Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym* z dnia 14 marca 2003 oraz *Ustawy Prawo o Szkolnictwie Wyższym* z dnia 27 lipca 2005 roku.

**Niniejszym przedkładam Radzie Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej wniosek o dopuszczenie doktora dr inż. Andrzeja Burgharda do dalszych etapów przewodu habilitacyjnego i nadanie stopnia naukowego doktora habilitowanego w dyscyplinie mechanika.**

