

prof. dr hab. inż. Jerzy Małachowski
Wydział Inżynierii Mechanicznej
Wojskowa Akademia Techniczna
ul. gen. Sylwestra Kaliskiego 2
00-908 Warszawa
Tel.: +48 261 839 140
E-mail: jerzy.malachowski@wat.edu.pl

Warszawa, dn. 10.04.2024 r.

Recenzja

na temat dorobku dr inż. MAGDALENY MUSZYŃSKIEJ ubiegającej się o nadanie stopnia naukowego doktora habilitowanego

1. Podstawa opracowania

Podstawę opracowania stanowi pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza, prof. dr. hab. inż. Andrzeja Burghardta, informujące o powołaniu na recenzenta w związku z wszczętym postępowaniem o nadanie dr inż. MAGDALENI MUSZYŃSKIEJ stopnia naukowego doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna wraz ze stosowną dokumentacją.

2. Sylwetka Habilitantki

Stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie mechanika Habilitantka uzyskała w dn. 16.05.2012 roku na podstawie rozprawy doktorskiej pt. *Neuronowo - rozmyte systemy sterowania mobilnym robotem kołowym* obronionej na Politechnice Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza, na Wydziale Budowy Maszyn i Lotnictwa. Promotorem rozprawy był prof. dr hab. inż. Zenon Hendzel, recenzentami prof. dr hab. inż. Józef Giergiel i prof. dr hab. inż. Janusz Kwaśniewski. Należy nadmienić, iż Pani dr inż. Magdalena Muszyńska skończyła studium pedagogiczne na Wydziale Zarządzania i Marketingu Politechniki Rzeszowskiej, a studia magisterskie na Wydziale Budowy Maszyn i Lotnictwa tejże samej Uczelni w roku 2005.

Pani dr inż. Magdalena Muszyńska realizowała swoją ścieżkę zatrudnienia w całości na Wydziale Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej będąc początkowo w latach 2006-20021 na etacie asystenta w Katedrze Mechaniki Stosowanej i Robotyki, a po obronie rozprawy doktorskiej od roku 2012 aż do dnia dzisiejszego na etacie adiunkta.

3. Tematyka badawcza dotycząca postępowania habilitacyjnego

Podstawą ubiegania się o stopień doktora habilitowanego jest monografia naukowa, cykl powiązanych tematycznie 8 artykułów naukowych oraz oryginalne osiągnięcie konstrukcyjne nt. *„Opracowanie i implementacja algorytmów neuronowych-rozmytych w systemach zautomatyzowanych w niższej warstwie sterowania, jak i na poziomie zarządzania procesem”*.

1. Monografia naukowa: Muszyńska, M., (2023). *Zastosowanie algorytmów neuronowo-rozmytych w automatyzacji wybranych procesów przemysłowych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej. ISBN: 978-83-7934-667-7

2. Cykl powiązanych tematycznie artykułów:

2.1 Kurc, K., Burghardt, A., Gierlak, P., Muszyńska, M., Szybicki, D., Ornat, A., & Uliasz, M. (2022). *Application of a 3D Scanner in Robotic Measurement of Aviation Components*. Electronics, 11(19), 3216. Według MNiSW **140 pkt., IF=2,69**.

Wkład merytoryczny Habilitantki to: przygotowanie danych dotyczących łopatek pochodzących ze skanera 3D światła strukturalnego; opracowanie algorytmu wymiany danych pomiędzy neuronowym systemem decyzyjnym uzyskanym w oprogramowaniu Matlab generującym parametry obróbki a kontrolerem robota oraz interpretacja otrzymanych wyników.

2.2 Burghardt, A., Szybicki, D., Gierlak, P., Kurc, K., Muszyńska, M., Ornat, A., & Uliasz, M. (2022). *TCP Parameters Monitoring of Robotic Stations*. Electronics, 11(20), 3415. Według MNiSW **140 pkt., IF=2,69**.

Wkład merytoryczny Habilitantki to: przygotowanie systemu do pozyskiwania danych dotyczących parametrów pracy robota przemysłowego oraz opracowanie systemu do określenia prędkości TCP (przyspieszenia oraz zużycia energii).

2.3 Burghardt, A., Szybicki, D., Kurc, K., & Muszyńska, M. (2022). *Robotic grinding process of turboprop engine compressor blades with active selection of contact force*. Tehnički vjesnik, 29(1), 15-22. Według MNiSW **40 pkt., IF=0,9**.

Wkład merytoryczny Habilitantki to: przygotowanie modelu neuronowego systemu decyzyjnego w oprogramowaniu Matlab/Simulink do generowania siły docisku na podstawie zmierzonych naddatków obróbkowych, nauczenie sieci neuronowej zależności naddatku od siły dla wybranych punktów pomiarowych dla potrzeb doboru odpowiedniej siły docisku na obrabianej powierzchni oraz przygotowanie interpretacji otrzymanych wyników i wykonanie analizy błędów.

2.4 Burghardt, A., Szybicki, D., Kurc, K., Obal, P., & Muszyńska, M. (2018). *Dobór parametrów systemu zrobotyzowanego z układem kontroli siły*. Modelowanie Inżynierskie, 37, 68, 5-10.

Wkład merytoryczny Habilitantki to: przygotowanie danych pomiarowych, przebadanie wpływu zmiany wybranych parametrów na proces obróbki skrawaniem oraz opracowanie wyników.

2.5 Burghardt, A., Szybicki, D., Kurc, K., Muszyńska, M., & Mucha, J. (2017). *Experimental study of Inconel 718 surface treatment by edge robotic deburring with force control*. Strength of Materials, 49, 594-604. Według MNiSW **40 pkt., IF=0,443**.

Wkład merytoryczny Habilitantki to: przygotowanie podstaw teoretycznych badań oraz opracowanie wyników związanych z parametrami doboru siły kontaktu detal – narzędzie z uwzględnieniem parametrów chropowatości.

2.6 Burghardt, A., Kurc, K., Szybicki, D., Muszyńska, M., & Nawrocki, J. (2017). *Robot-operated quality control station based on the UTT method*. Open Engineering, 7(1), 37-42. Według MNiSW **70 pkt., IF=1,7**.

Wkład merytoryczny Habilitantki to: akwizycja i analiza danych z ultradźwiękowego systemu pomiarowego w celu uzyskania automatycznej pozycji i orientacji robota w punktach pomiarowych.

2.7 Burghardt, A., Szybicki, D., Kurc, K., & Muszyńska, M. (2016). *Optimization of process parameters of edge robotic deburring with force control*. International Journal of Applied Mechanics and Engineering, 21(4), 987-995. Według MNiSW **40 pkt.**

Wkład merytoryczny Habilitantki to: dobór kontroli siły dla szeregu elementów silnika odrzutowego (m.in. łopatek czy dyfuzora) poprzez dobór parametrów oraz analiza otrzymanych wyników.

2.8 Burghardt, A., Kurc, K., Muszyńska, M., & Szybicki, D. (2014). *Zrobotyzowane stanowisko z kontrolą siły*. Modelowanie inżynierskie, 22(53), 30-36.

Wkład merytoryczny Habilitantki to: opracowanie podstaw teoretycznych, dobór parametrów funkcjonowania stanowiska, analiza układów z kontrolą siły docisku, interpretacja otrzymanych wyników i analiza błędów.

3. Osiągnięcie projektowe, konstrukcyjne, technologiczne lub artystyczne, zgodnie z art. 219 ust. 1. pkt 2c ustawy:

Projekt i konstrukcja wraz z dokumentacją techniczną stacji pomiarów oraz szlifowania łopatek silników odrzutowych. NR-651-93-U-20084-20, RM-U-20084.

Wkład merytoryczny Habilitantki to: zaplanowanie zadań pracy stacji zrobotyzowanej, symulacji pracy manipulatora wraz z optymalizacją kinematyki ruchów oraz kompleksowym zaprojektowaniem konstrukcji stacji. Uwzględnione zostały dyrektywy maszynowe i normy bezpieczeństwa maszyn, wraz z zastosowaniem wymaganych zabezpieczeń gwarantujących bezpieczeństwo pracy. Dobrane zostały materiały i komponenty, przygotowano również rysunki wykonawcze i złożeniowe w celu przedłożenia do wykonawcy.

Przedstawione osiągnięcia badawcze wyrażone w trzech formach koncentrują się wokół implementacji algorytmów wykorzystujących elementy sztucznej inteligencji w sterowaniu robotów. Pierwszym z elementów, i zarazem osiągnięciem, było wykorzystanie sztucznej inteligencji w sterowaniu manipulatorem przemysłowym. Wyniki tych prac są szczegółowo

opisane w autorskiej monografii pt. „Zastosowanie algorytmów neuronowo-rozmytych w automatyzacji wybranych procesów przemysłowych”. Część ta dotyczy zastosowania algorytmów neuronowo-rozmytych do kompensowania nieliniowości robota przemysłowego w hybrydowym sterowaniu pozycyjno-siłowym. Autorka wykazała możliwość praktycznego zastosowania układów neuronowo-rozmytych w sterowaniu robotem przemysłowym. Dla potrzeb realizacji zostały opracowane podstawy teoretyczne badań oraz zaprezentowano schematy sterowania neuronowo-rozmytego poprzez adaptację parametrów konkluzji bazy reguł. Habilitantka wykazała, że stabilność układu można uzyskać stosując teorię stabilności Lapunowa. Potwierdziła to na etapie badań symulacyjnych, które następnie uwiarygodniła implementując proponowane sterowanie na obiekcie rzeczywistym. Zaproponowany układ neuronowo-rozmyty efektywnie posłużył do kompensacji nieliniowości manipulatora i dał możliwość uzyskania wymaganej precyzji ruchu efektora manipulatora, a tym samym zostało zapewnione prawidłowe funkcjonowanie systemu.

Kolejnym elementem prowadzonych badań i zarazem osiągnięciem był cykl czterech publikacji (2.8, 2.7, 2.5 i 2.4) poświęcony implementacji algorytmów neuronowo-rozmytych w obróbce zrobotyzowanej z kontrolą siły. Artykuły te dotyczyły m.in. zastosowania pakietu Force Control, który pozwala na kontrolę siły wywieranej przez narzędzie na obrabiany przedmiot. Zaproponowany sposób sterowania pozwolił na dostosowanie ruchów robota do informacji zwrotnych z czujników siły w czasie rzeczywistym, a co w konsekwencji dało możliwość doboru suboptymalnych parametrów procesu, w tym m.in. siły docisku i prędkości ruchu TCP (Tool Center Point).

Kolejnym osiągnięciem badawczym było opracowanie algorytmu wykorzystującego elementy sztucznej inteligencji w sterowaniu procesem szlifowania łopatek silnika lotniczego. Osiągnięcie to w pierwszym etapie znalazło swoje odwzorowanie w cyklu 3 publikacji (2.1, 2.2 i 2.6). Inteligentne sterowniki oparte o sieć neuronową oraz logikę rozmytą generują wartości sił docisku narzędzia. Wykorzystanie właściwości uogólniających sztucznych sieci neuronowych oraz czytelna reprezentacja wiedzy układów z logiką rozmytą pozwoliły Habilitantce na otrzymanie informacji pozwalającej na przyjęcie wartości siły kontaktu detal-narzędzie w taki sposób, aby zapewnić proces szlifowania z narzuconymi wymaganiami. Zwieńczeniem praktycznym tych prac było wykorzystanie opracowanego algorytmu do obróbki łopatki silnika lotniczego w ramach realizacji grantu z NCBiR „INNOLOT2” POIR.01.02.00-00-0016/15-01, pt. „Zaawansowane technologie wytwarzania łopatek turbin metodami obróbki skrawaniem, zautomatyzowanym polerowaniem oraz drukowaniem 3D”, który był wykonywany w konsorcjum z trzema podmiotami gospodarczymi (Ultratech sp. z o.o., ResEco sp. z o.o. i 3D Robot sp. z o.o.).

Podsumowaniem przez Autorkę dokumentacji habilitacyjnej jej dotychczasowych badań teoretycznych, opracowanych algorytmów oraz wdrożeniem zrealizowanych na bazie rozwijania algorytmów neuronowo-rozmytych w zautomatyzowanych procesach przemysłowych było wykonanie wirtualnego modelu oraz kompletnej dokumentacji projektowej i wykonawczej stacji obróbki łopatek. To osiągnięcie konstrukcyjne zostało zrealizowane w ramach wspomnianego projektu „INNOLOT2” i znalazło swoje praktyczne wdrożenie w spółce Ultratech sp. z o.o.

Wszystkie powyższe osiągnięcia tworzą spójne tematycznie dzieło naukowe, które bez wątplenia może być podstawą do opracowania dokumentacji habilitacyjnej i uzyskania na tej

podstawie awansu naukowego do stopnia doktora habilitowanego. Wynika to także z faktu, że realizacja powyższych osiągnięć pozwoliła także zaprezentować szereg elementów autorskich i oryginalnych, do których bez wątpienia należy zaliczyć m.in.:

1. Opracowanie inteligentnego regulatora neuronowo-rozmytego w zadaniu nadążania mobilnego robota w obecności zmiennych warunków pracy, w którym Habilitantka zaproponowała dwa algorytmy sterowania neuronowo-rozmytego dotyczące adaptacji parametrów konkluzji bazy reguł układu rozmytego kompensującego nieliniowości robota oraz sterowanie neuronowo - rozmyte, w którym przeprowadza się adaptację parametrów konkluzji i przesłanek bazy reguł.
2. Opracowanie algorytmów neuronowo-rozmytych w sterowaniu robotem przemysłowym, gdzie zaimplementowano ocenę stabilności układu stosując teorię Lapunowa.
3. Opracowanie sterownika procesu szlifowania łopatek opartego na algorytmach neuronowych zapewniając tym samym płynny proces realizacji obróbki mechanicznej poprzez redukcję mogących wystąpić błędów pomiarowych.
4. Opracowanie metody doboru parametrów w procesie obróbki łopatki realizowanej z wykorzystaniem rozwiązania bazującego na układach z logiką rozmytą.
5. Opracowanie kompletnego projektu z dokumentacją wykonawczą zrobotyzowanej stacji obróbki łopatek.

Habilitantka poza wymienionym cyklem publikacji wchodzących do zbioru dzieła habilitacyjnego oraz monografii posiada w swoim dorobku jeszcze udział w opracowaniu dwóch monografii, jednego rozdziału w monografii, 18 publikacji wydanych w czasopismach z listy JCR i 30 artykułów naukowych opublikowanych w innych czasopismach. Sumaryczny *Impact Factor* (IF) dla wszystkich opublikowanych prac według listy zgodnie z rokiem opublikowania wynosi 35.7. Liczba cytowań dla przedstawionych w dorobku publikacji wynosi 122 (85 bez autocytowań) wg bazy Web of Science i 159 (206 bez autocytowań) wg bazy Scopus. Przedkłada się to na następujące wartości indeksu Hirscha: odpowiednio 7 wg Web of Science oraz 7 wg bazy Scopus. Wyżej wymienione dane naukometryczne dowodzą, iż reprezentowana przez Habilitantkę tematyka badawcza jest jak najbardziej aktualna, znajduje swoje zainteresowanie w świecie naukowym i stale rozwija się. Dodatkowo o rozpoznawalności naukowej Habilitantki świadczą jej liczne referaty na wystąpieniach konferencyjnych w kraju i zagranicą, których łącznie w swoim dorobku ma 29.

Do innych osiągnięć naukowych Habilitantki, które nie zostały objęte wskazanym cyklem publikacji, należy zaliczyć następujący dorobek badawczy, wdrożeniowy oraz aktywność poza jednostką macierzystą:

- Aktywny udział w realizacji projektów badawczych krajowych i zagranicznych (łącznie 8 takich aktywności). Są to m.in. następujące projekty ściśle powiązane z prowadzoną działalnością badawczą, a mianowicie: w latach 2021-2023 projekt z funduszy europejskich JANUS: *e-Pedagogy and Virtual Reality Based Robotic Blended Education* (2020-1-PL01-KA226-HE-095371); w latach 2020-2022 projekt

w ramach Funduszy Norweskich finansowany z Mechanizmu Finansowego EOG (EOG/19/K3/W/0037) pt. „Kształcenie dualne w kontekście wyzwań Przemysłu 4.0”; w latach 2019–2022 projekt POIR (POIR.01.01.01-00-0016/19) pt. „Automatyzacja obróbki cienko-ściennych korpusów przekładni lotniczych, wykonanych ze stopów lekkich”; w latach 2017–2021 projekt POIR (POIR.01.01.01-00-0763/17) pt. „Opracowanie technologii wytwarzania oraz wdrożenie do produkcji aparatów kierujących lotniczej turbiny niskiego ciśnienia”; w latach 2015–2020 projekt POIR (POIR.01.02.00-00-0016/15) pt. „Zaawansowane technologie wytwarzania łopatek turbin metodami obróbki skrawaniem, zautomatyzowanym polerowaniem oraz drukowaniem 3D” oraz w latach 2013–2016 projekt z NCBiR (INNOTECH–K2/IN2/66/182991/NCBR/13) pt. „Opracowanie procesu zrobotyzowanego zatępienia krawędzi elementów o zmiennym kształcie stosowanych w silnikach lotniczych z wykorzystaniem systemu automatycznej adaptacji trajektorii narzędzia.”

- Odbyte krótkoterminowe wyjazdy i szkolenia międzynarodowe: w Trondheim (Norwegia) w siedzibie IDN (International Development Norway) w dniach 18-22.01.2022 jako uczestnik NTNU (Norwegian University of Science and Technology) oraz SINTIEF (największa niezależna organizacja badawcza w Europie) w celu prowadzenia badań z zakresu walidacji parametrów opracowanego oprogramowania wynikająca z wniosków wpływających z dotychczasowych wdrożeń w fabryce Kongsberg Automotive oraz w ABB Czech Republic, Robotics European Laser Days w Pradze w dniach 09-11.03.2016 na szkoleniu w jednostce rozwojowej firmy ABB w zakresie poznania problematyki wdrażania zrobotyzowanej stacji spawalniczej PW 800 w Pratt & Whitney Rzeszów S.A.
- Udział we współpracy z otoczeniem gospodarczym–współpraca w realizacji trzech zleceń dla firm (Pratt & Whitney Rzeszów S.A., EC Systems sp. z o.o. oraz WSK "PZL-RZESZÓW" S.A.), siedmiu zadań badawczych z ramienia Politechniki Rzeszowskiej na rzecz spółki 3D Robot sp. z o.o., trzech ekspertyz (dla ENERGY 2000 sp. z o.o., Sąd Okręgowy w Krakowie, WSK "PZL-RZESZÓW" S.A.) oraz jednego szkolenia dla pracowników ResEco sp. z o.o.
- Współdziałal w opracowaniu nowych rozwiązań technologiczno-projektowych wyrażonych zgłoszeniami do Urzędu Patentowego RP (pięć zgłoszeń) oraz jednego zgłoszenia do Europejskiego Urzędu Patentowego.
- Udział w opracowaniu czterech technologii wdrożonych w trzech podmiotach gospodarczych (CPP sp. z o.o., Pratt & Whitney Rzeszów S.A. oraz w Ultratech sp. z o.o.), które były efektem realizacji wspólnych przedsięwzięć projektowych.
- Działalność w środowisku naukowym: wykonanie trzech recenzji w czasopiśmie zagranicznych, bycie członkiem Polskiego Towarzystwa Mechaniki Teoretycznej i Stosowanej oraz Stowarzyszenia Polski Komitet Teorii Maszyn i Mechanizmów PK TMM oraz pełnienie funkcji przewodniczącego komitetu organizacyjnego i członka komitetu naukowego (II Podkarpackiej Konferencji Młodych Naukowców) dwóch konferencji krajowych.
- Pełnienie funkcji promotora pomocniczego w dwóch rozprawach doktorskich obronionych w 2023 roku.

- Otrzymanie nagrody naukowej zespołowej I stopnia Rektora Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza za cykl publikacji dotyczących robotyzacji procesów przemysłowych (20 listopada 2018 r), nagrody zespołowej III stopnia Rektora Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza za cykl publikacji dotyczących nowoczesnej i aktualnej tematyki robotyki przemysłowej (30 listopada 2017 r.) oraz nagrody Rektora Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza za uzyskanie stopnia doktora nauk technicznych w dyscyplinie mechanika (19 grudnia 2015 r.).

Przedstawiony powyżej obszar działalności Autorki dokumentacji habilitacyjnej zasługuje na szczególne podkreślenie pod kątem współpracy ze środowiskiem przemysłowo-gospodarczym.

Podsumowując, należy uznać, że wymagania ustawowe w przedstawionym zakresie są spełnione.

Wszystkie osiągnięcia naukowe dr inż. Magdaleny Muszyńskiej charakteryzują się spójnością tematyczną, posiadają elementy autorskie, innowacyjne i zarazem oryginalne. Habilitantka potwierdziła, że zainteresowanie sieciami neuronowymi systematycznie rośnie i mogą one być z powodzeniem stosowane także w zadaniach związanych ze sterowaniem urządzeniami mechanicznymi (robotami). Ważnym aspektem jest także proces uczenia się robotów przemysłowych dla potrzeb predykcji i sterowania nimi także w sytuacjach awaryjnych.

Zaproponowana przez Habilitantkę tematyka badawcza niewątpliwie jest bardzo innowatorska i wpisuje się w aktualne trendy związane z implementacją algorytmów neuronowych, a tym samym rozwojem sztucznej inteligencji w zagadnieniach przemysłowych. Habilitantka wykazała tym samym, że przedstawione osiągnięcia mogą być podstawą do nadania stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie naukowej inżynieria mechaniczna.

4. Wniosek końcowy

Po przeprowadzeniu oceny, w opinii Recenzenta, dorobek dr inż. Magdaleny Muszyńskiej zaprezentowany we wniosku habilitacyjnym spełnia wymogi odnośnie postępowania habilitacyjnego, określone w stosownej *Ustawie* i może stanowić podstawę ubiegania się o stopień naukowy doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie naukowej inżynieria mechaniczna.

Wnoszę o nadanie dr inż. Magdalenie Muszyńskiej stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie naukowej inżynieria mechaniczna.