

Prof. dr hab. inż. Leon Kukielka
Katedra Mechaniki i Konstrukcji
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Energetyki
Politechnika Koszalińska
ul. Śniadeckich 2, 75-453 Koszalin
e-mail: leon.kukielka@tu.koszalin.pl

Koszalin, 15.03.2024 r.

RECENZJA

całości kształtu dorobku naukowego, dydaktycznego i organizacyjnego
w postępowaniu habilitacyjnym dr inż. Magdaleny Muszyńskiej, kandydatki do stopnia naukowego
doktora habilitowanego w dziedzinie Nauki inżynierijno-techniczne,
w dyscyplinie Inżynieria mechaniczna,

prowadzonym przez Radę Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Rzeszowskiej
im. Ignacego Łukasiewicza, al. Powstańców Warszawy 8, 35-959 Rzeszów.

Recenzję podjęto na zlecenie Pana dra hab. inż. Andrzeja BURGHARDTA, prof. PRz,
Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Rzeszowskiej, zgodnie
z pismem Nr RM/531-06-05/2023 z dnia 23 listopada 2023 r. oraz decyzją Rady Doskonałości,
Naukowej pismo nr DRKN.Z2.400.181.2023 z dnia 14 listopada 2023 roku podpisane przez Pana
prof. dr hab. Grzegorza WĘGRZYNA, Przewodniczącego Rady, o włączeniu w skład komisji
habilitacyjnej w charakterze recenzenta, w postępowaniu o nadanie stopnia naukowego doktora
habilitowanego w dziedzinie *Nauk inżynierijno-technicznych* w dyscyplinie *Inżynieria
mechaniczna*, Pani dr inż. Magdaleny Muszyńskiej, z Politechniki Rzeszowskiej, Wydział Budowy
Maszyn i Lotnictwa, Katedra Mechaniki Stosowanej i Robotyki.

Podstawę merytoryczną stanowi dokumentacja dorobku dr inż. Magdaleny Muszyńskiej
zawierająca:

- Wniosek Habilitantki.
- Kopię dyplomu doktora nauk technicznych w języku polskim (załącznik 2).
- Autoreferat przedstawiający opis osiągnięcia naukowego (załącznik 3).
- Wykaz osiągnięć naukowych stanowiący znaczny wkład w rozwój dyscypliny (załącznik 4).
- Oświadczenia współautorów prac (załącznik 5).
- Monografia habilitacyjna (załącznik 6).
- Kopie publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego (załącznik 7).
- Dokumentacja konstrukcyjna stacji zrobotyzowanej (załącznik 8).

Podstawę prawną wykonania recenzji stanowi: Ustawa z dnia 20 lipca 2018 roku „*Prawo
o szkolnictwie wyższym i nauce*” art. 219, ust. 1, pkt. 2 oraz art. 267, ust. 2, pkt 2, lit. b (Dz. U. z
2021 r. poz. 478 z późn. zm.).

1. Podstawowe dane o Kandydatce

Dr inż. Magdalen Muszyńska studia magisterskie odbyła w okresie 2000 – 2005 na kierunku
Mechanika i budowa maszyn, specjalność: Mechatronika na Wydziale Budowy Maszyn i Lotnictwa
Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza. Promotorem pracy magisterskiej był prof. dr
hab. inż. Józef Giergiel, dr h. c. multi.

Studium pedagogiczne Kandydatka odbyła w Zakładzie Edukacji Ustawicznej na Wydziale
Zarządzania i Marketingu, Politechniki Rzeszowskiej.

W latach 2005 – 2009 Kandydatka odbyła studia doktoranckie w dziedzinie *Nauki techniczne*, dyscyplinie *Budowa i eksploatacja maszyn*, na Wydziale Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej.

Stopień naukowy doktora nauk technicznych, w dyscyplinie *Mechanika*, uzyskała 16.05.2012 r. na Politechnice Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza, Wydziale Budowy Maszyn i Lotnictwa. Temat rozprawy doktorskiej: „*Neuronowo - rozmyte systemy sterowania mobilnym robotem kołowym*”. Promotorem rozprawy był: prof. dr hab. inż. Zenon Hendzel, natomiast Recenzentami byli prof. dr hab. inż. Józef Giergiel oraz prof. dr hab. inż. Janusz Kwaśniewski.

W latach 2006 - 2012 r. pracowała na stanowisku Asystenta w Katedrze Mechaniki Stosowanej i Robotyki Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza, natomiast od roku 2012 na stanowisku Adiunkta w tej samej Katedrze.

Głównym nurtem zainteresowań naukowych Habilitantki są zagadnienia związane z implementacją algorytmów wykorzystujących elementy sztucznej inteligencji w sterowaniu robotów mobilnych i stacjonarnych (manipulatorów i zrobotyzowanych centrów obróbczych).

2. Stwierdzenie spełnienia albo braku spełnienia przesłanki, o której mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 1 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce dotyczącej posiadania stopnia doktora

Dr inż. Magdalena Muszyńska posiada **stopień naukowy doktora** w dziedzinie *Nauk technicznych*, w dyscyplinie *Mechanika*, nadany uchwałą Rady Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa, Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza, w dniu 16 maja 2012 roku. Temat rozprawy „*Neuronowo - rozmyte systemy sterowania mobilnym robotem kołowym*”. Promotorem rozprawy był: prof. dr hab. inż. Zenon Hendzel, natomiast Recenzentami byli prof. dr hab. inż. Józef Giergiel oraz prof. dr hab. inż. Janusz Kwaśniewski.

3. Charakterystyka i ocena osiągnięcia naukowego będącego podstawą wniosku o nadanie stopnia doktora habilitowanego

3.1. Tytuł osiągnięcia naukowego

Dr inż. Magdalena Muszyńska zgodnie z art. 219, ust. 1, pkt 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.) jako podstawę wszczęcia postępowania habilitacyjnego przedstawiła następujące osiągnięcia:

1) Monografia naukowa zgodnie art. 219, ust. 1, pkt. 2, lit. a ustawy:

Muszyńska Magdalena, „*Zastosowanie algorytmów neuronowo - rozmytych w automatyzacji wybranych procesów przemysłowych*”. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, 2023, ISBN 978-83-7934-667-7. Recenzenci Prof. dr hab. Victor A. Eremeyev, Università degli Studi di Cagliari (UNICA) (Włochy) oraz dr hab. inż. Piotr Małka, Akademia Górniczo - Hutnicza im. S. Staszica, Kraków.

2) Cykl powiązanych tematycznie 8 artykułów zgodnie z art. 219 ust. 1. pkt 2 lit. b ustawy, opublikowanych w czasopismach naukowych (w tym 5 z tzw. listy filadelfijskiej z IF), które w roku opublikowania artykułu w ostatecznej formie były ujęte w wykazie sporządzonym zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 267 ust. 2 pkt 2 lit. b:

[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, 77(19), 3216. Według MNiSW 140 pkt., IF=2,69.

[2] Burghardt, A., Szybicki, D., Gierlak, P., Kurc, K., Muszyńska, M., Ornat, A., & Uliasz, M. (2022). *TCP Parameters Monitoring of Robotic Stations*. Electronics, 77(20), 3415. Według MNiSW 140 pkt., IF=2,69.

- [3] Burghardt, A., Szybicki, D., Kurc, K., & Muszyńska, M. (2022). *Robotic grinding process of turboprop engine compressor blades with active selection of contact force*. *Tehnicki vjestnik*, 29(1), 15-22. Według MNiSW 40 pkt., IF=0,9.
 - [4] Burghardt, A., Szybicki, D., Kurc, IC., Obal, P., & Muszyńska, M. (2018). *Dobór parametrów systemu zrobotyzowanego z układem kontroli siły*. *Modelowanie Inżynierskie*, 37.
 - [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.
 - [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.
 - [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*, 27(4), 987-995. Według MNiSW 40 pkt.
 - [8] Burghardt, A., Kurc, K., Muszyńska, M., & Szybicki, D. (2014). *Zrobotyzowane stanowisko z kontrolą siły*. *Modelowanie inżynierskie*, 22(53), 30-36.
- 3) Wykaz zrealizowanych oryginalnych osiągnięć projektowych, konstrukcyjnych, technologicznych lub artystycznych, zgodnie z art. 219 ust. 1. pkt 2c ustawy.

Projekt, konstrukcja i dokumentacja techniczna kompletnej zrobotyzowanej stacji pomiarów oraz szlifowania łopatek silników odrzutowych. Wykonano na zlecenie firmy 3D Robot będące częścią zadania w projekcie POIR.Ol.02.00-00-0016/15, pt. „Zaawansowane technologie wytwarzania łopatek turbin metodami obróbki skrawaniem, zautomatyzowanym polerowaniem oraz drukowaniem 3D”. Zlecenie wewnętrzne o numerze NR-651-93-U-20084-20, RM-U-20084. Stacja przeznaczona jest do operacji szlifowania grzbietu, koryta oraz krawędzi spływu i natarcia łopatki sprężarki silnika lotniczego.

Z zestawienia wynika, że wszystkie artykuły są współautorskie, przy czym sześć prac jest napisanych w języku angielskim. W żadnej z prac współautorskich dr inż. Magdalena Muszyńska nie występuje na pierwszej pozycji, co można interpretować, iż nie była wiodącym autorem lub badaczem w ramach prezentowanych prac. Zespołowy charakter prac wynika ze złożoności podjętej tematyki badawczej, przy czym Kandydatka precyzyjnie określiła merytoryczny udział własny w każdej publikacji. Habilitantka załączyła oświadczenia współautorów z opisem Ich udziału merytorycznego w poszczególnych pracach (zał. 5). Z oświadczeń wynika, że Kandydatka, we wszystkich publikacjach miała znaczący wkład merytoryczny. Pewnym mankamentem jest brak potwierdzonego udziału ilościowego (procentowego) poszczególnych współautorów określające Ich indywidualny ilościowy wkład w powstanie pracy.

3.2. Ocena osiągnięcia naukowego

Monografia habilitacyjna pt. „Zastosowanie algorytmów neuronowo - rozmytych w automatyzacji wybranych procesów przemysłowych” opublikowana w 2023 roku stanowi podsumowanie dotychczasowych badań prowadzonych przez dr inż. Magdalenę Muszyńską. Monografia jest skoncentrowana wokół zagadnienia opracowania i implementacji algorytmów neuronowo-rozmytych w systemach zautomatyzowanych, zarówno w niższej warstwie sterowania, jak i na poziomie zarządzania procesem.

Monografia habilitacyjna stanowi oryginalny wkład dr inż. Magdaleny Muszyńskiej do rozwiązania trzech ważnych problemów sterowania robotami. Pierwszy dotyczy tematyki opracowania i implementacji neuronowo-rozmytego algorytmu sterowania robotem przemysłowym w sterowaniu hybrydowym - sterowanie pozycyjne na kierunku stycznym oraz siłowe, na kierunku

normalnym (interakcja robota z przedmiotem obrabianym). Opracowano dwa warianty sterowania. Pierwszy wariant dotyczył sterowania neuronowo-rozmytego, związanego z adaptacją parametrów konkluzji bazy reguł układu rozmytego kompensującego nieliniowości robota, przy założonych stałych parametrach funkcji przynależności wejścia. Drugi wariant dotyczył sterowania neuronowo-rozmytego, w którym przeprowadza się adaptację parametrów konkluzji i przesłanek bazy reguł. Ważnym osiągnięciem było opracowanie modelu rozmytego w procesie obróbki elementów silników lotniczych w celu określenia zależności ilości usuwanej warstwy materiału w funkcji siły docisku narzędzia. Przeprowadzono liczne badania symulacyjne oraz weryfikacyjne na obiekcie rzeczywistym. Stanowisko laboratoryjne do badań procesu szlifowania grzbietu łopatki składa się z manipulatora, systemu kontrolno-pomiarowego dSpace DS1006 oraz stanowiska PC z oprogramowaniem Matlab oraz Simulink i ControlDesk. Efektor manipulatora jest wyposażony w czujnik siły i momentu obrotowego ATI FTD-Gamma SI-130-10. Czujnik siły i momentu obrotowego mierzy siłę nacisku i zapewnia informacje zwrotne niezbędne do realizacji kontroli siły. Wykazano, że użycie układu neuronowo-rozmytego do kompensacji nieliniowości manipulatora pozwoliło na uzyskanie wymaganej precyzji ruchu efektor manipulatora oraz wykonać operację szlifowania łopatek w narzuconych tolerancjach wymiarowych.

Kolejny aspekt dotyczył implementacji algorytmów neuronowych oraz rozmytych w systemach zrobotyzowanych na poziomie zarządzania procesem. Zastosowano metody sztucznej inteligencji do opracowania neuronowego oraz rozmytego systemu doboru siły skrawającej w celu zebrania odpowiedniej warstwy materiału (o zmiennym naddatku) w procesie obróbki łopatki silnika lotniczego. Stacja zrobotyzowana zawierała robota IRB 140 manipulującego obrabianym detalem, narzędzie szlifujące (ściernicę) oraz robota IRB 1600 z zainstalowaną głowicą skanującą 3D. Układ pomiarowy współpracuje z oprogramowaniem ATOS Professional i komunikuje się z kontrolerem robota (IRC5) z wykorzystaniem protokołu TCP/IP. Oprogramowanie kontrolera robota RobotWare zapewniło sterowanie dwoma robotami oraz dodatkowo było wyposażone w opcję kontroli siły. System pomiarowy pozwolił na uzyskanie w 80 punktach zależności pomiędzy siłą a ilością usuwanego materiału (naddatku) łopatki. Neuronowy sterownik procesu szlifowania łopatek został zbudowany w programie Matlab, z zastosowaniem funkcji biblioteki Neural Network Toolbox. Na podstawie wyników badań wybrano sieć neuronową z dwiema warstwami ukrytymi z dziewięcioma neuronami w każdej z tych warstw. Wagi sieci neuronowej były uczone według algorytmu bazującego na metodzie optymalizacji Levenberga-Marquardta. Dane do uczenia sieci uzyskano z pomiarów eksperymentalnych. Inteligentne sterowniki, oparte na sieci neuronowej oraz logice rozmytej, przedstawione w pracy generują wartości sił docisku narzędzia w zależności od wartości występującego naddatku materiału, który pojawia się na skutek procesu technologicznego wytwarzania łopatki. Pozwala to na przyjęcie wartości siły kontaktu detal–narzędzie w taki sposób, aby zapewnić realizację procesu szlifowania z narzuconymi wymaganiami.

Ważnym problemem jest również opracowanie i implementacja algorytmów neuronowo-rozmytych w kontroli jakości pokryw korpusów lotniczych przekładni akcesoryjnych, wytwarzanych przez obróbkę mechaniczną odlewów. Opracowano sposób generowania raportów pomiarowych, opierając się jedynie na danych zgromadzonych za pomocą sond pomiarowych na maszynie CNC podczas obróbki i po jej zakończeniu, tak aby można było wyeliminować konieczność stosowania współrzędnościowej maszyny pomiarowej (CMM, ang. *Coordinate Measuring Machine*). Jest to bardzo ważne osiągnięcie, gdyż ze względu na odpowiedzialność tych układów, kontroli podlegają wszystkie produkowane części. Takie podejście wynika z tendencji automatyzacji jak największej liczby operacji w przemyśle lotniczym, przy jednoczesnym wyeliminowaniu wpływu człowieka na proces (tzw. *closed door technology* (CDT)). W tym celu współczesne centra obróbcze są wyposażone w sondy pomiarowe i dedykowane oprogramowanie do przeprowadzania podstawowych pomiarów na maszynach obróbczych i zapisywanie ich wyników w formie zmiennych systemowych CNC lub raportów pomiarowych. Do przekształcenia wyników pomiarów uzyskanych na maszynie CNC na dane wyjściowe będące odpowiednikami pomiarów dokonywanych na CMM zastosowano układ ze sztuczną inteligencją (neuronowo-

rozmytego ANFIS). ANFIS łączy właściwości sztucznej sieci neuronowej (*artificial neural network* – ANN) i układu rozmytego (*fuzzy system*).

Przedstawiona monografia jest spójna tematycznie i można ją uznać za znaczące osiągnięcie naukowe.

Natomiast artykuły wchodzące w skład osiągnięcia naukowego są aktualne i powstały w latach 2014÷2022, przy czym 5 artykułów zostało opublikowane w czasopiśmie indeksowanym w bazie Journal Citation Reports, ze współczynnikiem wpływu IF o wartości od 0,443 do 2.69. Tematyka prac zawartych w cyklu jednotematycznych publikacji dotyczy nowych zastosowań sztucznej inteligencji, w szczególności metod, w których nie jest wymagana znajomość modelu matematycznego sterowanego obiektu ani wiedza na temat sygnałów sterowania, w algorytmach sterujących robotami, zarówno mobilnymi jak i stacjonarnymi - metod na poziomie realizacji ruchu robotów manipulacyjnych oraz na poziomie zrobotyzowanej obróbki mechanicznej. Większość prac [3] ÷ [7] koncentruje się wokół tematyki implementacji algorytmów neuronowo – rozmytych w obróbce zrobotyzowanej z kontrolą siły. Są to zagadnienia bardzo nowoczesne i ważne ze względu na konieczność mechanizacji różnych operacji w procesach produkcyjnych stosowanych w przemyśle. Bardzo ważnym osiągnięciem naukowym było zastosowanie pakietu Force Control, do kontroli wartości siły wywieranej przez narzędzie na obrabiany przedmiot. Opracowany sposób sterowania pozwala na dostosowanie ruchów robota do informacji zwrotnych z czujników siły w czasie rzeczywistym. Przeprowadzone badania pozwoliły na dobór suboptymalnych parametrów procesu skrawania, w tym m.in. siły docisku i prędkości ruchu punktu TCP (Tool Center Point), które mają wpływ na proces obróbki. Zaproponowane procedury suboptymalizacyjne pozwoliły na opracowanie zestawu parametrów procesu zapewniających obróbkę zgodnie ze specyfikacjami procesu. Dobór kontroli siły był realizowany dla szeregu elementów silnika odrzutowego (łopatek sprężarki silnika oraz dyfuzora). W przypadku dyfuzora realizowany proces obróbki polegał na stępieniu krawędzi oraz usuwania wypływek z wykorzystaniem układu kontroli siły. Problem jest bardzo skomplikowany i ważny, gdyż automatyzacja tego procesu wymaga uwzględnienia zarówno zmiennej wyjściowej geometrii dyfuzora po procesie odlewania, wykonanego z Inconelu 718 (materiał trudnoobrabialny, współczynnik obrabialności 14%), jak i zmiennej geometrii wypływek. W takim przypadku konieczne jest sterowanie adaptacyjne. Opracowana oryginalna technologia, obejmowała trzy etapy: usuwanie dużych wypływek za pomocą frezowania, następnie szlifowanie z użyciem pilnika obrotowego oraz ostatecznie szlifowanie wykańczające krawędzi. W ramach prac Kandydatka rozwiązała problem doboru parametrów pracy, przygotowanie danych pomiarowych, analizę układów z kontrolą siły docisku oraz zbadała wpływ zmiany wybranych parametrów na proces obróbki skrawaniem. Ponadto dr inż. Magdalena Muszyńska dokonała interpretacji oraz opracowania wyników związanych z doбором siły z uwzględnieniem parametrów chropowatości.

Omawiana tematyka była również realizowana w ramach grantu: 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.*” W ramach grantu opracowano i wdrożono technologię zrobotyzowanej obróbki dyfuzora silnika V2500, wykonanego z inconelu 718 (odlew), który jest stosowany w samolotach Airbus A320, McDonnell Douglas MD-90 i Embraer C-390 Millennium.

Kolejne wyniki oryginalnych badań naukowych dotyczących algorytmów wykorzystujących elementy sztucznej inteligencji (neuronowych oraz rozmytych) do sterowania parametrami procesu szlifowania łopatek turbin sprężarki silnika lotniczego opublikowano w pracach [1], [2] i [6]. Należy podkreślić, problem automatyzacji tego procesu jest bardzo skomplikowany ze względu na niepewność wykonania półwyrobu kształtu łopatek odlewaniem oraz nierównomiernie rozłożonych nadmiarów materiału. Dotychczas wymagane operacje szlifowania, a następnie polerowania wykańczającego, były wykonywane ręcznie. Zastąpienie procesu obróbki ręcznej obróbką mechaniczną jest bardzo ważne, gdyż proces ten jest pracochłonny, monotony, nużący

i wymagający zdolności manualnych, gdyż geometria części jest złożona o zmiennej grubości naddatku, a obrabiane powierzchnie są ułożone wzdłuż krzywoliniowych krawędzi, przy tym wymagana jakość wyrobu jest wysoka i powtarzalna. Natomiast ręczne wykonywanie operacji nie zapewnia uzyskiwania wyrobu o powtarzalnej i wysokiej jakości.

Przedstawione rozwiązania są propozycją automatyzacji procesu szlifowania łopatek. Stacja zrobotyzowana zawierała robot IRB 140 manipulujący obrabianym detalem, narzędzie szlifujące oraz robot IRB 1600 z zainstalowaną głowicą skanującą 3D. Układ pomiarowy współpracuje z oprogramowaniem ATOS Professional i komunikuje się z kontrolerem robota (IRC5) z wykorzystaniem protokołu TCP/IP. Oprogramowanie kontrolera robota RobotWare zapewniło sterowanie dwoma robotami oraz wyposażone było dodatkowo w opcję kontroli siły. Opisana zrobotyzowana stacja została wykorzystana do prac badawczych związanych z tworzeniem inteligentnego systemu doboru siły obróbki w celu usunięcia odpowiedniej warstwy materiału (naddatku). Regulacja prędkości pracy narzędzia szlifującego zapewniona była przez przemiennik częstotliwości skomunikowany z kontrolerem robota z wykorzystaniem komunikacji DeviceNet.

Na uwagę zasługuje udział dr inż. Magdaleny Muszyńskiej jako kierownika z ramienia Politechniki Rzeszowskiej w realizacji 7 prac dotyczących obróbki łopatki, zleconych przez firmę 3D Robot w ramach grantu NCBiR „INNOLOT2” POIR.01.02.00-00-0016/15-01, pt. *„Zaawansowane technologie wytwarzania łopatek turbin metodami obróbki skrawaniem, zautomatyzowanym polerowaniem oraz drukowaniem 3D”*.

Główne osiągnięcia Habilitantki w ujęciu syntetycznym są ukierunkowanie badań na:

- Opracowanie inteligentnego regulatora neuronowo-rozmytego w zadaniu nadążania mobilnego robota kołowego w obecności zmiennych warunków pracy.
- Opracowanie algorytmów neuronowo-rozmytych w sterowaniu robotem przemysłowym.
- Opracowanie neuronowego sterownika procesu szlifowania łopatek turbin sprężarki silnika lotniczego.
- Opracowanie metody doboru parametrów w procesie obróbki łopatki silnika lotniczego z wykorzystaniem sztucznej inteligencji.
- Opracowanie autorskiego projektu i konstrukcji wraz dokumentacją wykonawczą zrobotyzowanej stacji do kontroli oraz obróbki szlifowaniem powierzchni bocznych łopatek silników odrzutowych. Stacja została wykonana na zlecenie firmy 3D Robot, zlokalizowanej w Podkarpackim Parku Technologicznym AEROPOLIS w Jasionce 954, 36-002 Jasionka, koło Rzeszowa, jako część zadania w projekcie *„Zaawansowane technologie wytwarzania łopatek turbin metodami obróbki skrawaniem, zautomatyzowanym polerowaniem oraz drukowaniem 3D”*. Zlecenie wewnętrzne NR-651-93-U-20084-20, RM-U-20084.

Sumaryczny współczynnik wpływu za osiągnięcie naukowe wynosi $IF=8,423$. Liczba cytowań tych prac jest zauważalna, natomiast suma punktów według MNiSW za cołoakształ osiągnięcia naukowego wynosi 550 pkt.

Podsumowanie: Dr inż. Magdalena Muszyńska we wskazanym osiągnięciu naukowym przedstawiła różne aspekty związane z implementacją algorytmów wykorzystujących elementy sztucznej inteligencji w sterowaniu robotów stacjonarnych i mobilnych. Należy zwrócić uwagę, że wyniki badań naukowych zostały wdrożone do przemysłu w postaci zrobotyzowanej stacji do kontroli oraz obróbki szlifowaniem powierzchni bocznych łopatek silników odrzutowych. Osiągnięcie naukowe zawiera oryginalne wyniki badań, a ich wpływ na rozwój dyscypliny Inżynieria mechaniczna jest znaczący. Habilitantka wykazała się zarówno samodzielnością jak i umiejętnością pracy zespołowej. Całościowa ocena osiągnięcia naukowego jest pozywna z uwagi na oryginalność i aktualność prezentowanych wyników oraz ich praktyczną implemencję, wysoki poziom opracowań i istotny wpływ na rozwój dycypliny Inżynieria mechaniczna. W mojej

opinii przedstawione przez dr inż. Magdalenę Muszyńską osiągnięcie naukowe spełnia w pełni wymagania ustawowe.

3.3. Stwierdzenie, czy osiągnięcia naukowe mieszczą się w zakresie wnioskowanej dziedziny i dyscypliny

Na podstawie analizy przedstawionej przez dr inż. Magdalenę Muszyńską dokumentacji oraz załączonej monografii oraz artykułów i dokumentacji konstrukcyjnej stacji obróbki łopatek stwierdzam, że osiągnięcia naukowe Kandydatki mieszczą się w **dziedzinie Nauk inżyniersko-technicznych**, w dyscyplinie **Inżynieria mechaniczna**.

4. Ocena pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych i istotnej aktywności naukowej

Na pozostałe osiągnięcia naukowe dr inż. Magdaleny Muszyńskiej, poza omówionym w pkt. 3.1. i 3.2 osiągnięciem naukowym, składa się: dwie monografie współautorskie opublikowane po uzyskaniu stopnia doktora:

- 1) Hendzel, Z., Muszyńska, M., Jagiełowicz - Ryznar, C. (2014). *Rozmyte systemy sterowania mobilnych robotów kołowych*. Monografia. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej. ISBN: 978-83-7199-965-8.
- 2) Cedro L., Gierlak P., Izworski A., Kekez M., Kot A., Muszyńska M., Nawrocka A., Nawrocki M., Radziszewski L., Wszolek W. (2015). *Inteligencja obliczeniowa w zastosowaniach inżynierskich - wybrane problemy. Pozycyjno - siłowe sterowanie manipulatorem z zastosowaniem układów neuronowo - rozmytych*. Akademia Górniczo-Hutnicza. ISBN: 978-83-64755-10-1,

jeden rozdział w monografii (również po doktoracie) Muszyńska M., Pietruś P., Burghardt A., Kurc K., Szybicki D. (2016). *Automatyzacja procesu obsługi maszyn CNC z wykorzystaniem manipulatorów przemysłowych. Wybrane zagadnienia i problemy z zakresu budowy maszyn, cz. 3*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, s. 66-78,

oraz 13 artykułów współautorskich opublikowanych w czasopiśmie indeksowanym w bazie JCR, (wszystkie po doktoracie), z IF od 0,7 do 8,4, sumaryczny IF za publikacje nieujęte w osiągnięciu naukowym wynosi $IF=27,277$ (natomiast łącznie za wszystkie publikacje $IF=35,7$).

Ponadto, 27 artykułów opublikowanych w czasopiśmie z dawnej listy B MNiSW, w tym 19 po doktoracie (w tym 6 w języku angielskim) oraz 8 przed doktoratem (wszystkie w języku polskim). Wszystkie publikacje są współautorskie, opublikowane w czasopiśmie zagranicznych (*Acta mechanica et automatic, Advances in Manufacturing Science and Technology, Applied Mechanics and Materials, International Journal of Applied Mechanics and Engineering, Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture, Mechanics and Mechanical Engineering,*) i krajowych (*Mechanik, Modelowanie Inżynierskie, Przegląd Mechaniczny, Pomiar Automatyka Robotyka, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej - Elektronika, Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji – PIB, Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej - Mechanik*).

Mankamentem opracowanego wykazu utrudniającym analizę dorobku jest powtórzenie publikacji już wykazanych w osiągnięciu naukowym oraz brak wykazanego udziału własnego w poszczególnych publikacjach (poza publikacjami w osiągnięciu naukowym). Ponadto Habilitantka nie podała procentowego wkładu poszczególnych współautorów w opracowaniu wymienionych pozycji, co również jest odstępstwem od przyjętych zwyczajów i dodatkowo utrudnia ocenę Jej osobistego dorobku naukowego. Analizę dorobku utrudnia również brak jego ujęcia tabelarycznego, z podziałem na dorobek przed i po uzyskaniu stopnia naukowego doktora.

Habilitantka wyniki swoich prac prezentowała na 29 konferencjach (w tym 19 po doktoracie) krajowych i międzynarodowych (w tym 3 zagranicznych – 5th International Conference on Advances in Signal Processing and Artificial Intelligence (ASPAI 2023), 7 - 9.07.2023, Teneryfa, Hiszpania; „Konferencja przemysł 4.0 Event Overview HANNOVER MESSE & CeMAT”, 16 -

19.09.2019, Hanower, Niemcy; „PRO-VE 2019, 20th Working Conference on Virtual Enterprises”, 23-25.09.2019, Turyn, Włochy). Brała również udział jako przewodniczący komitetu organizacyjnego 43. Konferencji Kolegium Dziekanów Wydziałów Mechanicznych Polskich Uczelni Technicznych nt. „*Badania naukowe i kształcenie na Wydziałach Mechanicznych w Polsce*”, Rzeszów, 11-13 październik 2023 r. oraz jako członek komitetu naukowego II Podkarpackiej Konferencji Młodych Naukowców, 13-15.10.2016 r. w Rzeszowie.

Z dostarczonej dokumentacji wynika, że Habilitantka była promotorem pomocniczym w dwóch przewodach doktorskich w dziedzinie nauk inżynieryjno - technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna realizowanych na Politechnice Rzeszowskiej:

– mgr. inż. Grzegorza Bomby „*System ekspercki oparty o wnioskowanie rozmyte wspierający produkcje kadłubów ADT silnika PW1000G z użyciem centr obróbczych CNC*”, obroniona 21.06.2023.

– mgr. inż. Marka Uliasz „*Opracowanie metodyki oceny stanu zrobotyzowanych stanowisk i ich zdolności do realizacji procesów technologicznych, przy uwzględnieniu urządzeń i czynników mających na nie wpływ*”, obroniona 28.06.2023.

Habilitantka brała udział jako wykonawca w 2 projektach europejskich:

- Projekt z funduszy europejskich JANUS: e-Pedagogy and Virtual Reality Based Robotic Blended Education. 2020-1-PLO 1-KA226-HE-095371. (2021-2023);
- Projekt w ramach Funduszy Norweskich finansowany z Mechanizmu Finansowego EOG, EOG/19/K3/W/0037, pt. „*Kształcenie dualne w kontekście wyzwania Przemysłu 4.0*”. (2020-2022),

oraz w sześciu projektach badawczych w tym 4 finansowane przez NCBiR, w charakterze kierownika i wykonawcy:

- 1) Grant POIR.01.01.01-00-0016/19 pt. „*Automatyzacja obróbki cienkościennych korpusów przekładni lotniczych, wykonanych ze stopów lekkich*”. Podmiot finansujący NCBiR. (Wykonawca - prace badawcze polegające na określeniu opracowanych zrobotyzowanych technologii obróbczych korpusu przekładni ADT, Nr umowy RM-U- 19317), 2019 – 2022.
- 2) Grant POIR.01.01.01-00-0763/17 pt. „*Opracowanie technologii wytwarzania oraz wdrożenie do produkcji aparatów kierujących lotniczej turbiny niskiego ciśnienia*”. Podmiot finansujący NCBiR. (Wykonawca - wykonanie i optymalizacja oprogramowania dotyczącego suszenia i odkurzania mis odlewniczych. Optymalizacja parametrów w warunkach pracy przemysłowej, Nr umowy RM- U-19116), 2017 – 2021.
- 3) Grant POIR.01.02.00-00-0016/15, pt. „*Zaawansowane technologie wytwarzania łopatek turbin metodami obróbki skrawaniem, zautomatyzowanym polerowaniem oraz drukowaniem 3D*”. Podmiot finansujący NCBiR. (Kierownik zadań z ramienia Politechniki Rzeszowskiej - wykonanie projektu autorskiego wraz z dokumentacją techniczną stacji zrobotyzowanej. Wykonanie rysunków złożeniowych oraz wykonawczych, wykonanie modeli trójwymiarowych, Nr umowy RM- U-20084), 2015 – 2020.
- 4) Projekt w ramach badań dla młodych naukowców, Tytuł projektu „*Diagnostyka układów mechatronicznych*”, Nr umowy 618/DS/M. Stanowisko: kierownik, 2015.
- 5) Program Operacyjny Kapitał Ludzki finansowany ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego. Tytuł projektu: „*Kształcenie innowacyjnych kadr GOW w Politechnice Rzeszowskiej*”; charakter udziału: stypendium dla młodych doktorów realizujących działalność dydaktyczną oraz naukową w obszarach kształcenia kluczowych w kontekście realizacji Strategii Europa 2020, Nr umowy 7/MD/2014, 25/MD/2014, 2014 – 2015.
- 6) Grant 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”. Wykonawca, 2013- 2016.

Habilitantka była recenzentem trzech artykułów do czasopism naukowych.

Dr inż. Magdalena Muszyńska brała udział jako wykonawca w trzech projektach zleconych przez przemysł:

- Diagnostyka zrobotyzowanego procesu obróbki kół zębatach, Nr umowy: RM-U-16532, podmiot zlecający: EC Systems Sp. z o.o. (2016).
- Opracowanie i zrealizowanie autorskiej procedury określania głębokości cechowania systemu pomiarowego pt. „Testy systemu pomiarowego GelSight Mobile System”, Nr umowy RM-U-23110, podmiot zlecający Pratt&Whitney Rzeszów S.A. (2023).
- Opracowanie instrukcji podstaw programowania robotów ABB z systemem IRC5. Nr umowy: U-014290. Zleceniodawca: WSK "PZL-RZESZÓW" S. A. (2015).

Habilitantka brała również udział jako wykonawca w opracowaniu trzech projektów technologicznych:

- Projekt 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*”. Istotą projektu było opracowanie technologii zrobotyzowanego zatępienia krawędzi elementów o losowo zmiennym kształcie realizowanego z wykorzystaniem systemu automatycznej adaptacji trajektorii narzędzia w czasie rzeczywistym.
- Projekt NCBiR POIR.01.01.01-00-0763/17, pt. „*Opracowanie technologii wytwarzania oraz wdrożenie do produkcji aparatów kierujących lotniczej turbiny niskiego ciśnienia*”.
- Projekt POIR.OI.01.01-00-0016/19 pt. „*Automatyzacja obróbki cienkościennych korpusów przekładni lotniczych, wykonanych ze stopów lekkich*”. Istotą projektu było opracowanie technologii zrobotyzowanej adaptacyjnej obróbki aluminiowych korpusów przekładni lotniczych realizowanej narzędziami pasywnymi.

Habilitantka, jako kierownik zadań i jedyny wykonawca z ramienia Politechniki Rzeszowskiej zrealizowała 7 prac zleconych na rzecz 3DRobot:

- 1) „Wykonanie testów trzech wersji oprogramowania w języku RAPID na stacji zrobotyzowanej z systemem kontroli siły wraz z dokumentacją wyników pracy w postaci pisemnego raportu”, Nr umowy: RM-U-17377.
- 2) „Testy dokładności układu polerowania łopatek”, Nr umowy: RM-U- 18269.
- 3) „Testy ukierunkowane na określenie suboptymalnych parametrów pracy dla szlifowania grzbietu i koryta łopatki”, Nr umowy: RM-U-18393.
- 4) „Prace projektowe konstrukcji nośnej zrobotyzowanej oraz dobór i testy narzędzi do szlifowania krawędzi spływu i krawędzi natarcia łopatki”, Nr umowy: RM-U-19332.
- 5) „Testy obróbki zrobotyzowanej z wykorzystaniem szlifierki pasowej, oprogramowania komunikacji robot czujnik Keyence”, Nr umowy: RM-U-19206.
- 6) „Wykonanie testów określających suboptymalne parametry pracy dla szlifowania grzbietu i koryta łopatki narzędziami przekazanymi przez zleceniodawcę”, Nr umowy: RM-U-19410.
- 7) „Wykonanie projektu autorskiego wraz z dokumentacją techniczną stacji zrobotyzowanej, Nr umowy: RM-U-20084.

Dr inż. Magdalena Muszyńska jest również współtwórcą 5 zgłoszeń patentowych do Urzędu Patentowego RP oraz jednego zgłoszenia do Europejskiego Urzędu Patentowego.

Habilitantka za działalność badawczą była 3 razy nagradzana Nagrodą Rektora Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza; za uzyskanie stopnia doktora nauk technicznych w dyscyplinie mechanika (2015), Nagrodę zespołową III stopnia za cykl publikacji dotyczących nowoczesnej i aktualnej tematyki robotyki przemysłowej (2017) oraz Nagrodę naukową zespołową I stopnia za cykl publikacji dotyczących robotyzacji procesów przemysłowych (2018).

Dr inż. Magdalena Muszyńska odbyła również szkolenie EC Test Systems Sp. z o.o. Szkolenie „Diagnostyka układów mechatronicznych”, Rzeszów Polska. Marzec 2017 r. otrzymując stosowny certyfikat.

Sumaryczna liczba cytowań wszystkich 18 artykułów dr. inż. Magdaleny Muszyńskiej wykazanych w bazie Web of Science wynosi 122 (85 bez autocytowań), a indeks Hirscha wynosi 7. Sumaryczny impact factor wszystkich publikacji w bazie WoS wynosi IF=35,7 (w tym IF=8,423 za publikacje wykazane w osiągnięciu naukowym). Łączna liczba punktów za publikacje według MNiSW wynosi 1548 (w tym 244 przed doktoratem). Parametry te świadczą o rozpoznawalności naukowej Dr inż. Magdaleny Muszyńskiej w środowisku międzynarodowym.

Podsumowanie: Dr inż. Magdalena Muszyńska po uzyskaniu stopnia naukowego doktora wykazała się istotną aktywnością naukową. Według mojej opinii Jej dorobek naukowo-badawczy spełnia wymagania stawiane osobom ubiegającym się o nadanie stopnia doktora habilitowanego.

5. Ocena działalności dydaktycznej, organizacyjnej, popularyzatorskiej i współpracy międzynarodowej

Habilitantka prowadzi zajęcia na Wydziale Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej zarówno ze studentami studiów pierwszego i drugiego stopnia. W latach 2005-2023 prowadziła zajęcia z takich przedmiotów jak: mechanika ogólna, mechanika analityczna, diagnostyka urządzeń mechatronicznych, obliczeniowe systemy informatyczne, mechatronika, teoria sterowania oraz metody sztucznej inteligencji. Dr inż. Magdalena Muszyńska była promotorem 69 prac, w tym: 31 prac inżynierskich, 38 prac magisterskich. Ponadto, zrecenzowała 29 prac oraz brała udział w 69 komisjach egzaminów dyplomowych.

Habilitantka w roku 2016, na zlecenie firmy ResE-co sp. z o.o., jako kierownik zespołu, prowadziła szkolenie z zakresu robotyki z elementami programowania w języku RAPID, Nr umowy: RM-U- 16297.

Habilitantka w okresie od 01.03.2020 do 28.02.2022 roku była jednym z głównych wykonawców projektu pt. „Kształcenie dualne w kontekście wyzwań Przemysłu 4.0”, finansowanego z Funduszy Norweskich, Mechanizmu Finansowego EOG Komponent III PROGRAM EDUKACJA nr dokumentu: EOG/19/K3/W/0037. Uczestniczyła również w wizytach studyjnych w Trondheim, Krakowie i Rzeszowie.

We współpracy z firmą Sturm Polska Sp. z o. o (biuro konstrukcyjne) była odpowiedzialna za organizowanie wykładów oraz zajęć praktycznych na Uczelni z udziałem pracowników tej firmy.

Habilitantka była koordynatorem Wydziałowym projektu „Inżynieria mechaniczna dla przemysłu lotniczego – realizacja studiów II stopnia na Wydziale Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej”. Nr umowy: POWR.03.01.00-00-DU64/18-00. Projekt współfinansowany przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego w ramach Programu Operacyjnego Wiedza Edukacja Rozwój. (2018-2021).

Habilitantka odbyła dwa staże zagraniczne:

- Trondheim Norwegia, siedziba IDN (International Development Norway), 18-22.01.2022, uczestnicy NTNU (Norwegian University of Science and Technology) oraz SINTIEF (największa niezależna organizacja badawcza w Europie), tematyka dotyczyła walidacji parametrów opracowanego oprogramowania wynikająca z wniosków wpływających z dotychczasowych wdrożeń w fabryce Kongsberg Automotive.

- ABB Czech Republic, Robotics European Laser Days - Praga 09-11.03.2016, szkolenie/staż w jednostce rozwojowej firmy ABB. Tematyka prac dotyczyła problemów przy wdrażaniu zrobotyzowanej stacji spawalniczej PW 800 w Pratt&Whitney Rzeszów S.A. Podmiot finansujący wyjazd ABB sp. z o.o.

Habilitantka wykazuje się również działalnością organizacyjną i działalnością na rzecz środowiska naukowego. W latach 2013–2023 była członkiem Wydziałowej Komisji ds. Zapewnienia Jakości Kształcenia, w latach 2006-2016 członkiem Wydziałowej Komisji Rekrutacyjnej, natomiast w roku akademickim 2021/2022, 2022/2023 opiekunem studentów pierwszego roku na kierunku Mechatronika. Ponadto, od roku 2014 jest członkiem Zespołu ds. weryfikacji osiągnięcia efektów kształcenia na kierunku Mechatronika, od roku 2020 jest członkiem Zespołu zadaniowego ds. przeglądu i oceny programów studiów na kierunku Mechatronika, natomiast od roku 2022 jest członkiem Rady Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa. Habilitantka jest członkiem Polskiego Towarzystwa Mechaniki Teoretycznej i Stosowanej (od 2016 roku jako sekretarz Oddziału Rzeszowskiego) oraz członkiem Polskiego Komitetu Teorii Maszyn i Mechanizmów „PK TMM” (od 2018 roku).

Podsumowanie: Dorobek dr. inż. Magdaleny Muszyńskiej w zakresie działalności dydaktycznej, organizacyjnej i popularyzatorskiej oraz współpracy międzynarodowej i krajowej również oceniam pozytywnie.

6. Wniosek końcowy

Podsumowując przedstawione powyżej elementy oceny dokonań Habilitantki wyeksponowane w monografii habilitacyjnej, cyklu jednotematycznych 8 publikacji zatytułowanej i osiągnięć konstrukcyjnych oraz całokształtu dorobku naukowo-badawczego stwierdzam, że dorobek publikacyjny dr. inż. Magdaleny Muszyńskiej po uzyskaniu stopnia naukowego doktora wnosi istotny wkład w rozwój dyscypliny **Inżynieria mechaniczna** i spełnia ustawowe wymagania stawiane przy ubieganiu o stopień doktora habilitowanego. Kandydatka wykazała się również istotną aktywnością w życiu środowiska naukowego i współpracy międzynarodowej oraz posiada wystarczający dorobek dydaktyczny i organizacyjny, w kierowaniu i współpracy z zespołami badawczymi, potwierdzające dobre przygotowanie do samodzielnej pracy naukowo-dydaktycznej. Działalność naukowa dr. inż. Magdaleny Muszyńskiej mieści się w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie inżynieria mechaniczna. **Wobec powyższego wniosek dr inż. Magdaleny Muszyńskiej opiniuję pozytywnie.**

Prof. dr hab. inż. Leon Kukielka