

Dr hab. inż. Paweł Majda prof. ZUT
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
tel: 793 314 801
e-mail: Pawel.Majda@zut.edu.pl

Recenzja

osiągnięcia naukowego „**Analiza wpływu parametrów i błędów systemów montażowych na montowalność połączeń łączonych z luzem oraz zgrzewanych tarciowo z przemieszaniem**”
dr. inż. Rafała Kluza będącego podstawą ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego,
opracowana na zlecenie Prorektora ds. nauki Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza
z siedzibą w Rzeszowie, z dnia 4 grudnia 2023 r.

Tą recenzję wykonałem samodzielnie z uwzględnieniem wymagań i kryteriów określonych w ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (tj. Dz. U. z 2023 r. poz. 742 1088, 1234, 1672, 1872, 2005) mającej zastosowanie na dzień wszczęcia postępowania habilitacyjnego.

Spis treści

1. Podstawowe dane	2
2. Charakterystyka i ocena dorobku naukowego	3
3. Charakterystyka i ocena osiągnięcia naukowego	6
4. Dyskusja konstruktywna.....	10
5. Wniosek końcowy	13

1. Podstawowe dane

Dane dr. inż. Rafała Kluza który ubiega się o nadanie stopnia naukowego doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna, po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych, są następujące:

1.1 Stopień doktora: Data uzyskania stopnia doktora: 14 listopada 2007 r. Nazwa jednostki organizacyjnej, w której stopień doktora został nadany: Katedra Technologii Maszyn i Inżynierii Produkcji, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Politechnika Rzeszowska.

1.2 Z przedstawionej do oceny dokumentacji wynika, że dr inż. Rafał Kluz pierwszy raz ubiega się o nadanie stopnia doktora habilitowanego.

1.3 Przedstawił do oceny osiągnięcia naukowego „Analiza wpływu parametrów i błędów systemów montażowych na montowalność połączeń łączonych z luzem oraz zgrzewanych tarciovo z przemieszaniem” monografię „Wyznaczanie i kształtowanie poziomu montowalności systemów montażowych”. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2023, ISBN 978-83-7934-350-8 oraz cykl powiązanych tematycznie dziewięciu publikacji naukowych.

1.4 Przebieg pracy naukowo-zawodowej:

- Asystent naukowo-dydaktyczny: od 1 października 2003 r. do 1 stycznia 2008 r. Miejsce: Politechnika Rzeszowska, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Katedra Technologii Maszyn i Inżynierii Produkcji.
- Adiunkt naukowo-dydaktyczny: od 1 stycznia 2008 r. do chwili obecnej. Miejsce: Politechnika Rzeszowska, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Katedra Technologii Maszyn i Inżynierii Produkcji.

1.5 Aktywność zawodowa:

- Stała współpraca naukowo-badawcza z krajowymi uczelniami i instytutami:
 - Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Lublin,
 - Uniwersytet Rzeszowski, Wydział Matematyczno-Przyrodniczy, Rzeszów,
 - Akademia Marynarki Wojennej, Wydział Mechaniczno-Elektryczny, Gdynia,
 - Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Krośnie, Krosno.
- Stała współpraca naukowo-badawcza z zagranicznymi uczelniami i instytutami:
 - Belgian Welding Institute, Belgia, Ghent,
 - Technical University of Košice Department of Computer Aided Technology, Słowacja, Košice,
 - Institute of Aerospace Engineering Brno University of Technology – Czechy, Brno.
- Prowadzenie wykładów i ćwiczeń na studiach podyplomowych.
- W ramach działalności popularyzującej naukę, Kandydat wygłosił 17 referatów oraz przedstawił 11 plakatów podczas 22 konferencji międzynarodowych i 6 konferencji krajowych.
- Aktywnie publikuje artykuły w wydawnictwach krajowych i zagranicznych.
- Udział w komitetach konferencji krajowych i międzynarodowych w liczbie 2 i 1.
- Recenzowanie artykułów w czasopismach krajowych i międzynarodowych w liczbie 23 i 3.
- Członkostwo w towarzystwach naukowych: Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Mechaników Polskich (SIMP) oraz Polskie Towarzystwo Zarządzania Produkcją (PTZP).
- Członkostwo w komitecie redakcyjnym czasopisma "Technologia i Automatyzacja Montażu" (redaktor tematyczny).
- Udział w organizacji konferencji naukowych.
- Staż naukowo-badawczy w Institute of Aerospace Engineering Brno University of Technology (2019 r.).
- Kandydat wykazał i udokumentował udział jako wykonawca w wielu projektach badawczych oraz wykonawca wielu prac zleconych przez podmioty zewnętrzne.

1.6 Działalność dydaktyczna:

- Prowadzenie zajęć na studiach magisterskich i inżynierskich z różnych przedmiotów z zakresu inżynierii mechanicznej.
- Wykłady i ćwiczenia na studiach podyplomowych.
- Opieka naukowa nad studentami, pełnienie funkcji promotora.

1.7 Działalność organizacyjna:

- Członkostwo w Komisjach Obron Prac Dyplomowych na różnych kierunkach nieprzerwanie od 2015 r. do chwili obecnej.
- Planowanie i koordynowanie rozkładu zajęć na kierunku Mechanika i Budowa Maszyn, nieprzerwanie od 2008 r.
- Pełnienie funkcji audytora wewnętrznego i pełnomocnika ds. szkoleń w Systemie Zarządzania Jakością w latach 2004-2012.

Podsumowując, dr inż. Rafał Kluz uzyskał stopień doktora w 2007 roku na Politechnice Rzeszowskiej, a następnie kontynuował swoją karierę naukową i dydaktyczną na tej samej uczelni, awansując do stanowiska adiunkta. Posiada bogate doświadczenie w pracy naukowej, współpracy krajowej i międzynarodowej oraz aktywności dydaktycznej i organizacyjnej. Z przedstawionej dokumentacji wynika, że spełnia wszystkie kryteria formalne wymagane przez odpowiednią ustawę dla osób ubiegających się o nadanie stopnia naukowego doktora habilitowanego, osiągając je na bardzo dobrym poziomie.

2. Charakterystyka i ocena dorobku naukowego

Dr inż. Rafał Kluz, po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych nadanego uchwałą Rady Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej, wykazał się dobrym dorobkiem naukowym o zauważalnym wpływie w obszarze inżynierii mechanicznej. Zajmował się wieloma obszarami badawczymi (w tym innymi od rozważanych w przedmiotowym osiągnięciu naukowym), demonstrując wszechstronność i zaawansowane umiejętności.

2.1 Obszary badawcze:

- Robotyzacja procesów technologicznych, ze szczególnym uwzględnieniem zrobotyzowanych procesów odlewania oraz obróbki laserowej powierzchni.
- Optymalizacja systemów montażowych, wykorzystując metody balansowania linii produkcyjnych i modele matematyczne oparte na rachunku prawdopodobieństwa.
- Projektowanie stanowisk montażowych zautomatyzowanych i manualnych, ze szczególnym uwzględnieniem potrzeb osób z ograniczoną sprawnością ruchową.
- Badania nad poprawą właściwości połączeń zgrzewanych i spawanych, w tym techniki pneumokulowania oraz nagniatania hydrostatycznego.
- Obróbka plastyczno-sprężystego odkształcenia warstwy wierzchniej dla uzyskania pożądanych właściwości.

2.2 Badania toczenia wykończeniowego stopu Ti6Al4V:

- Projektowanie modeli matematycznych wpływu parametrów toczenia na właściwości warstwy wierzchniej.
- Optymalizacja parametrów procesu skrawania umożliwiająca obróbkę na sucho w wysokiej temperaturze.

2.3 Badania zużycia narzędzi:

- Analiza miejsca powstawania zużycia i intensywności zużywania wiertel oraz przeciągaczy.
- Wykazanie, że kryterium zużywania wiertła może stanowić zużycie wierzchołków, zapewniające dokładne pomiary i spełniające wszystkie wymagania.

2.4 Publikacje i nagrody:

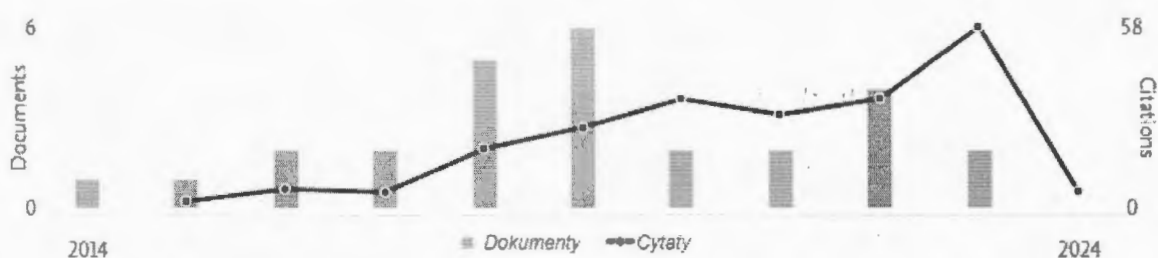
- Autor lub współautor 73 artykułów naukowych, w tym publikacje w czasopismach z bazy JCR. Po uzyskaniu stopnia doktora liczba artykułów indeksowanych w bazach Scopus oraz WoS, to 17 oraz 14 bez współczynnika wpływu IF. Pozostałe to artykuły w czasopismach krajowych bez IF,
- Sumaryczny Impact Factor wszystkich publikacji wynosi 33,5, liczba cytowań z wykluczeniem autocytowań (stan na 28.06.2023) to 181 (WoS) i 187 (Scopus), a indeks Hirscha (Scopus oraz WoS), to 8.
- Recenzent artykułów naukowych dla czasopism krajowych i międzynarodowych.
- Czterokrotnie nagrodzony Nagrodą Rektora Politechniki Rzeszowskiej, w tym nagrodą indywidualną trzeciego stopnia oraz trzykrotnie nagrodą za publikację indeksowaną z listy MNISW.

2.5 Metryki publikacji Autora wg bazy Scopus (analiza w kontekście jakości czasopisma):

- Czasopisma w których Autor publikował w latach 2013-2022 uszeregowane wg wskaźnika CiteScore¹ z bazy Scopus:

Scopus Source	Scholarly Output	Citations	CiteScore 2022
Robotics and Autonomous Systems	1	10	9.1
International Journal of Advanced Manufacturing Technology	1	17	6.2
Eksploatacja i Niezawodność	3	26	5.4
Materials	3	23	5.2
Journal of Adhesion Science and Technology	1	9	4.4
Journal of Materials Engineering and Performance	1	11	3.5
Advances in Science and Technology Research Journal	1	8	1.5
Archives of Foundry Engineering	3	4	1.2
Lecture Notes in Mechanical Engineering	2	6	0.9

- Trendy w liczbie publikacji i cytowań w bazie Scopus



¹ CiteScore opiera się na liczbie cytowań z zakresu ostatnich czterech lat (np. 2019–2022) w recenzowanych dokumentach, takich jak artykuły, recenzje, materiały konferencyjne, dokumenty i rozdziały książek, opublikowanych w tych samych czterech latach kalendarzowych. Wynik jest uzyskiwany poprzez podzielenie liczby tych cytowań przez liczbę dokumentów w tych samych czterech latach (np. 2019–2022). Oznacza to, że jego interpretacja jest podobna do wskaźnika Impact Factor, ale z istotną różnicą, polegającą na tym, że CiteScore jest obliczany dla okresu czterech lat, a nie jak w przypadku Impact Factor dla dwóch lat. Wyższa wartość CiteScore wskazuje na jakość czasopism, które publikują artykuły z pozytywnym wpływem. Z kolei niższa wartość CiteScore umniejsza znaczenie czasopism, które bezmyślnie stosują politykę publikowania w celu zwiększenia liczby artykułów. W dyscyplinie inżynierii mechanicznej CiteScore rzędu 20 stanowi kamień milowy, którego większość naukowców nie osiąga.

- Metryka najlepszej publikacji Autora z bazy Scopus:

Robotics and Autonomous Systems • Volume 74, Pages 253 - 266 • 2015

Analysis of the optimal orientation of robot gripper for an improved capability assembly process

Kluz, Rafał : Trzepieciński, Tomasz
 Save all to author list

CiteScore 2015

4.9 = 2922 Cytaty 2012 -2015
 598 Dokumentów 2012 -2015

Obliczono na dzień 01.05.2016

CiteScoreTracker 2023

8.1 = Dotychczas 5121 cytatów
 Dotychczas 636 dokumentów

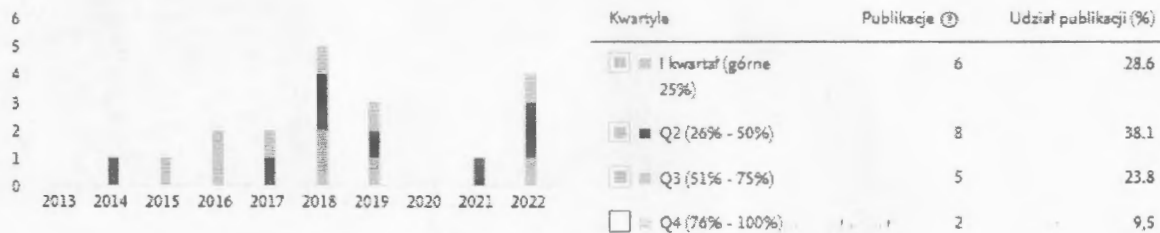
Ostatnia aktualizacja: 5 grudnia 2023 - Aktualizacja co miesiąc

Ranking CiteScore 2015

Kategoria	Ranga	Percentyl
Matematyka		
└ Matematyka ogólna	#10/321	97
Inżynieria		
└ Sterowanie i inżynieria systemów	#30/214	86
Informatyka		
└ Technologia Informatyki	#71/511	86

- Publikacje Autora wg kwartyła czasopisma z bazy Scopus

Udział publikacji na kwartył czasopisma wg Centyl CiteScore



Typ autorstwa	Dorobek naukowy	Udział typu autorstwa (%)	Wpływ na cytowanie ważony terenowo	Cytaty
Pierwszy autor	13	52	0,70	113
Ostatni autor	0	0	0,00	0
Autor korespondencji	6	24	0,52	18
Współautor	11	44	0,82	102
Pojedynczy autor	0	0	0,00	0

Podsumowując, dorobek naukowy dr. inż. Rafała Kluza oceniam na wysoce wystarczający jak dla osób ubiegających się o nadanie stopnia doktora habilitowanego w dyscyplinie inżynieria mechaniczna. Jego wkład w badania, liczba publikacji z tendencją zwyżkową liczby cytowań oraz z bardzo dobrą liczbą² cytowań (bez uwzględniania autocytowań) w bazach międzynarodowych, udział w projektach badawczych oraz aktywność recenzyjna świadczą o doskonałych umiejętnościach badawczych. Publikuje w renomowanych czasopismach – 6 z 21 jego współautorskich publikacji należy do obszaru I kwartyla wg bazy Scopus. Ponadto, pełni funkcję pierwszego autora w publikacji, którą czasopismo *Robotics and Autonomous Systems* zaakceptowało do druku (na rok ukazania się publikacji: 97 percentyl³ w obszarze tematycznym matematyka ogólna, 86 percentyl w sterowaniu i inżynierii systemów, 86 percentyl w zastosowaniach informatyki). Jego zaangażowanie w powstawanie współautorskich prac oraz prac z pierwszą pozycją autora sugeruje, że posiada znaczącą pozycję w swojej dziedzinie.

3. Charakterystyka i ocena osiągnięcia naukowego

Dr inż. Rafał Kluz przedstawił do oceny swoje naukowe osiągnięcie w postaci monografii zatytułowanej „*Analiza wpływu parametrów i błędów systemów montażowych na montowalność połączeń łączonych z luzem oraz zgrzewanych tarciovo z przemieszaniem*”. Monografia została wydana pod tytułem „*Wyznaczanie i kształtowanie poziomu montowalności systemów montażowych*” przez Oficynę Wydawniczą Politechniki Rzeszowskiej w Rzeszowie w 2023 roku, a jej numer ISBN to 978-83-7934-350-8. Dodatkowo, Autor przedstawił, jako integralną część osiągnięcia naukowego, cykl dziewięciu spójnie powiązanych tematycznie publikacji naukowych. Treść tych publikacji jest tożsama z treścią zawartą w monografii wydanej w języku polskim. Stąd ocena monografii jest tożsama z oceną treści przedmiotowych artykułów. Niemniej jednak, w monografii zawarte są znacznie bardziej rozbudowane i szczegółowe informacje, które pozwoliły doprecyzować warunki odtwarzalności przeprowadzonych badań (takie jak szczegółowe charakterystyki metrologiczne użytych czujników, warunki przeprowadzania pomiarów, szczegóły budowy stanowisk pomiarowych itp.). W skróconej wersji, czyli znacznie krótszych artykułach, byłoby to utrudnione. Fakt ten stanowi wartość dodaną dla wyników opublikowanych badań. Ponadto, kompleksowość zawartości zgromadzonej w jednej monografii znacznie ułatwiła mi, jako recenzentowi, przeprowadzenie całościowej oceny tekstu. Dlatego wysoce oceniam przedłożoną do recenzowania formę publikacji w postaci monografii oraz doceniam trud włożony w jej powstanie.

Badania prowadzone przez dr. inż. Rafała Kluzę, będące przedmiotem recenzowanego osiągnięcia naukowego, koncentrują się na analizie oraz projektowaniu zautomatyzowanych systemów montażowych, ze szczególnym uwzględnieniem zapewnienia niezawodności i poprawności przebiegu procesów. Dwa pierwsze rozdziały (oraz ósmy, ostatni) ocenianej monografii posiadają klasyczny układ pracy naukowej. Autor analizuje w nich aktualny stan wiedzy „state of the art” i na tej podstawie formułuje zakres tematyczny oraz cele badań. Tematyka obejmuje zastosowanie urządzeń o różnej dokładności w kontekście ekonomicznego aspektu automatyzacji montażu, podkreślając konieczność zachowania akceptowalnego poziomu montowalności. Głównym celem badań było opracowanie metod i narzędzi umożliwiających określenie wpływu parametrów i błędów systemów montażowych na montowalność połączeń, zarówno pasowanych z luzem dodatnim, jak i zgrzewanych tarciovo z przemieszaniem. Autor skupił się na różnych aspektach, takich jak dokładność robota montażowego,

² Pojęcie „bardzo dobra liczba” zostało tu użyte w kontekście jej porównania z typową liczbą cytowań dla publikacji innych polskich autorów w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.

³ 97 percentyl informuje, że czasopismo, w kontekście danego obszaru tematycznego (dziedziny), znajduje się w najlepszych 3% wszystkich czasopism w bazie danych, uszeregowanych według współczynnika wpływu, na przykład CiteScore.

modelowanie błędów systemu montażowego czy optymalizowanie strategii realizacji procesu łączenia. Badania obejmują również analizę wpływu parametrów procesu zgrzewania na montowalność połączeń, ze szczególnym uwzględnieniem różnych metod zgrzewania. Warto podkreślić, że Autor badań kieruje swoje spojrzenie na praktyczne zastosowanie opracowanych metod w przemyśle. Przedstawione zagadnienia są kompleksowo analizowane, a uzyskane wyniki mogą być istotne dla projektantów, umożliwiając określenie rzeczywistej dokładności wyposażenia i jego wpływu na proces montażu.

Kolejne rozdziały monografii to szczegółowe studia przypadków o szeroko zakreślonym spektrum badania różnych wielkości wpływających w nurcie sformułowanego zakresu badań. I tak w rozdziale trzecim Autor skupił się na analizie błędów generowanych przez zautomatyzowane stanowiska montażowe, zwłaszcza na dwóch robotach przemysłowych: M10iA firmy Fanuc i RV-M2 firmy Mitsubishi. W pierwszym etapie, Autor dokonał pomiaru błędów powtarzalności pozycjonowania obu robotów, identyfikując istotne różnice między nimi. Następnie, badał wpływ prędkości efektora robota na jakość procesu pozycjonowania, poddając wyniki szczegółowej analizie statystycznej. Autor wykazał, że wzrost prędkości może istotnie wpływać na zdolność procesu pozycjonowania, co jest istotne dla montażu części o różnych powierzchniach. Badania zdolności przeprowadził adoptując dwuwymiarowe miary wskaźników z metod rozpowszechnionych w przemyśle samochodowym. W kolejnym etapie, badania skoncentrowały się na błędach orientacji robotów, szczególnie istotnych przy montażu części o powierzchniach płaskich. Autor zaproponował autorską metodę pomiaru tych błędów (innych zresztą także) i analizował ich wpływ na montowalność połączeń. Wykazał, że błędy orientacji mogą istotnie obniżyć zdolność procesu pozycjonowania, co jest kluczowe dla skomplikowanych połączeń części maszyn. Badania były oparte na analizie statystycznej wyników pomiarów, a Autor skoncentrował się na wykorzystaniu metod analizy regresji do modelowania i analizy błędów. Wnioski z badań wskazują na potrzebę uwzględnienia różnych czynników, takich jak błędy powtarzalności, prędkość ruchu efektora, czy błędy orientacji, przy projektowaniu zautomatyzowanych systemów montażowych. Praca ta może być cenna dla projektantów systemów montażowych, umożliwiając im określenie rzeczywistej dokładności wyposażenia i jej wpływu na proces montażu.

Rozdział czwarty zawiera m.in. przegląd metod modelowania błędów powtarzalności pozycjonowania elementów wykonawczych robotów przemysłowych. Obejmuje on zarówno tradycyjne metody oparte na normach, jak i nowoczesne podejścia, takie jak wykorzystanie sieci neuronowych, kinematyki bryły sztywnej oraz analizy probabilistycznej. Autor skupia się na ocenie dokładności osiągniętej pozycji i orientacji przez chwytak robota. Przedstawiona jest metoda oparta na normie ISO 9283: 2003, głównie stosowana przez producentów, jednak Autor zauważa, że mimo skuteczności jest mało popularna wśród użytkowników końcowych. Ponadto zauważa, że wraz z rozwojem oprogramowania opartego na sieciach neuronowych, badania wskazują na potencjał tych algorytmów w prognozowaniu błędów powtarzalności pozycjonowania. Rozdział obejmuje również opis metod opartych na głębokiej analizie klasycznych metod, takich jak kinematyka bryły sztywnej, umożliwiających wyznaczenie błędu powtarzalności. Przedstawione są także opracowania danych doświadczalnych dotyczące wpływu zmian temperatury otoczenia na błędy pozycjonowania robota przemysłowego. Badania Autora dowiodły, że dokładne wartości miar rozrzutów błędu pozycjonowania można uzyskać poprzez ich pomiary w różnych punktach przestrzeni wraz z estymacją parametrów modelu matematycznego opracowanego na podstawie zależności kinematyki ruchu bryły sztywnej. Autor zwraca uwagę na wprowadzony systematyczny błąd w procesie pozycjonowania w warunkach niestabilnej temperatury otoczenia. Proponuje randomizację błędów temperaturowych, wykorzystując rozkład jednostajny, co pozwala na opisanie całkowitego błędu powtarzalności pozycjonowania. Najbardziej innowacyjnym aspektem badań jest zastosowanie sztucznych sieci

neuronowych do prognozowania błędów powtarzalności pozycjonowania robota. Autor wykazał, że taka metoda osiąga większą dokładność niż model oparty na strukturze kinematycznej robota. Średni błąd prognozy dla robotów Mitsubishi RV-M2 i Fanuc M10iA wyniósł odpowiednio 4% i 3% dla błędu na osi x oraz 3,4% i 3,3% dla błędu na osi y. W rezultacie, propozycja Autora pozwala na wyznaczenie całkowitego błędu systemu montażowego, umożliwiając efektywne określenie prawdopodobieństwa poprawnego połączenia części oraz dobór dokładności oprzyrządowania technologicznego na stanowisku montażowym. Ostateczny rezultat, z błędem nieprzekraczającym 6,6%, potwierdza potencjał tej metody jako skutecznego narzędzia w kontekście doskonalenia systemów montażowych.

Badania nad wyznaczaniem kosztów eksploatacji systemu montażowego stanowią istotną część treści rozdziału piątego. Autor skupił się na precyzyjnym obliczeniu poziomu montowalności połączeń części maszyn. Osiągnięte wyniki badawcze prezentują oryginalne podejście do analizy prawdopodobieństwa połączenia części, szczególnie skoncentrowanej na częściach o powierzchniach walcowych i płaskich. W przypadku części o powierzchniach walcowych, Autor wykorzystuje rozkład zbliżony do rozkładu Rayleigha do analizy błędu odległości między osiami. Poprzez splot rozkładów lub aproksymację wyniku normalnym rozkładem gęstości prawdopodobieństwa, udaje mu się precyzyjnie oszacować prawdopodobieństwo połączenia części z błędem nieprzekraczającym 2%. Otrzymane wyniki są znaczące dla określenia kosztów eksploatacji systemu montażowego, umożliwiając dokładniejsze prognozowanie i planowanie procesów produkcyjnych. W kontekście części o powierzchniach płaskich, Autor proponuje metodę pozwalającą na oszacowanie prawdopodobieństwa połączenia z błędem nieprzekraczającym 3%. Szczególnie wartościowe jest zastosowanie szeregu Edgewortha do dokładnego wyznaczania prawdopodobieństwa połączenia, co stanowi innowacyjny wkład w analizę montowalności dla tej grupy części. Dodatkowo, opracowana metoda wyznaczania minimalnego poziomu montowalności na podstawie minimalnego luzu połączenia jest istotna dla praktycznej implementacji w warunkach przemysłowych. Autor uwzględnia różne sposoby ustalania części bazowej, co zwiększa uniwersalność i zastosowania tej metody w różnych wariantach przemysłowych. Podsumowując rozdział piąty - praca badawcza dostarcza oryginalnych i wartościowych wyników w dziedzinie montowalności części maszyn, a Autor skutecznie analizuje różne przypadki, wprowadzając innowacyjne podejścia do wyznaczania prawdopodobieństwa połączenia części. Osiągnięte rezultaty mają potencjał do zastosowania praktycznego w optymalizacji procesów montażowych.

Opracowane w rozdziale szóstym modele wyznaczania poziomu montowalności części maszyn stanowią istotny wkład w dziedzinie badań z zakresu dokładności pozycjonowania elementów wykonawczych robotów przemysłowych i procesów montażowych. Autor skoncentrował się na zastosowaniu tych modeli do zagadnień optymalizacyjnych, a wyniki badań przynoszą oryginalne spojrzenie na doskonalenie procesów montażu. Autor analizuje kąt obrotu chwytaka robota przemysłowego, wykazując, że jego pożądana wartość powinna być dobrana tak, aby zapewnić najwyższe prawdopodobieństwo połączenia części. W szczególności, dla połączeń o powierzchniach płaskich, sugeruje ustawienie chwytaka w taki sposób, aby jego oś główna pokrywała się z osią, na której kierunku błąd względnego przemieszczenia osi łączonych części osiąga maksymalną wartość. Badania potwierdzają, że dla części o powierzchniach walcowych najlepsze rezultaty osiąga się, orientując chwytak pod kątem $\pi/2$ rad w stosunku do osi głównych robota. Kolejny istotny aspekt badań dotyczy błędów systematycznych, które po pewnym czasie pojawiają się w procesie montażu. Autor proponuje rozwiązanie tego problemu poprzez odpowiedni obrót chwytaka, zmniejszając tym samym wpływ błędów na prawdopodobieństwo połączenia części. Analiza wykazuje, że znajomość kierunku, w którym mogą wystąpić błędy, umożliwia zminimalizowanie ich wpływu na wartości charakterystyk dokładnościowych procesu montażu. Najbardziej innowacyjnym elementem badań jest jednak zastosowanie metody optymalizacji wielokryterialnej do wyznaczania najkorzystniejszego

miejsca w przestrzeni robota do montażu połączeń o różnych kształtach. Pierwszy raz widziałem tego typu podejście do problemu. Autor skutecznie podkreśla, że optymalizacja ta zależy nie tylko od wartości parametrów charakteryzujących miary rozrzutu błędu pozycjonowania, ale również od stosunku odchyłeń standardowych błędu na poszczególnych osiach. Proponowana metodyka pozwala na osiągnięcie rozwiązania kompromisowego dla połączeń płaskich i walcowych, umożliwiając precyzyjne określenie wymagań dotyczących dokładności urządzeń i oprzyrządowania stanowiska montażowego. Podsumowując rozdział szósty można stwierdzić, że praca badawcza wnosi oryginalne spojrzenie na problematykę montowalności części maszyn, prezentując skuteczne metody optymalizacyjne. Autor udowadnia, że zastosowanie jego modeli matematycznych i technik optymalizacyjnych może istotnie poprawić efektywność procesów montażowych, co stanowi ważny wkład w rozwój dyscypliny tj. inżynierii mechanicznej a w szczególności w badania dokładności pozycjonowania robotów przemysłowych i metody analizy oraz modelowania procesów montażu zautomatyzowanego.

Treść rozdziału siódmego zawiera opracowanie zagadnień poświęconych montowalności połączeń zgrzewanych. Autor szczegółowo opracował i zweryfikował statystycznie model, opisujący wpływ parametrów ustawczych procesu na nośność i odchylenie standardowe tej nośności. Zidentyfikowane parametry umożliwiają precyzyjne określenie pożądanych parametrów i warunków procesu. W konsekwencji parametry te i warunki pozwalają uzyskać wymaganą nośność połączeń zgrzewanych oraz zapewnić wysokie wartości dla wskaźników zdolności procesu. Badania wykazały, że wraz ze wzrostem liczby wykonywanych złączy, błąd ustawienia prędkości obrotowej i czasu nie mają istotnego wpływu na nośność uzyskiwanych połączeń. Wyjątkiem jest parametr opisujący zagłębienie narzędzia, którego wzrost może przyczynić się do obniżenia wartości wskaźników zdolności procesu. Zastosowane podejście uwzględniające optymalizację wielokryterialną procesu, w tym odchylenia standardowego nośności połączenia związanej z błędem ustawienia narzędzia, pozwoliło na wyznaczenie parametrów, takich jak prędkość obrotowa, zagłębienie narzędzia i czas zgrzewania, gwarantujących wymaganą nośność na poziomie 7,1 kN. W kontekście złączy liniowych, Autor zwrócił uwagę na wpływ sztywności stanowiska na poziom montowalności połączeń. Uwzględnienie dodatkowego błędu związanego z zagłębieniem narzędzia pozwoliło na optymalizację parametrów procesu, uwzględniając obniżoną sztywność stanowiska, co skutkowało uzyskaniem nośności połączenia na poziomie 5,5 kN przy minimalnym odchyleniu standardowym. Osiągnięcia badawcze prezentowane w rozdziale siódmym stanowią istotny wkład w rozwój technologii zgrzewania złączy liniowych i punktowych, a opracowany model i zidentyfikowane parametry mają potencjał do praktycznej implementacji w przemyśle. Autor skutecznie przyczynił się do rozwinięcia wiedzy z zakresu optymalizacji procesów zgrzewania, podkreślając znaczenie uwzględnienia błędów systemu w osiąganiu pożądanych parametrów połączeń.

Dr inż. Rafał Kluz tj. Autor recenzowanej monografii i współautor cyklu spójnych tematycznie publikacji jako osiągnięcia naukowego będącego podstawą ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego skoncentrował się na problematyce wyznaczania poziomu montowalności systemów montażowych, zwłaszcza w kontekście zrobotyzowanego montażu części o spotykanych najczęściej w praktyce przemysłowej rodzajach współpracujących powierzchni. Analizując błędy pozycjonowania i ich powtarzalności dla robotów przemysłowych, Autor zastosował zarówno tradycyjne metody oparte na normach i klasycznych metodach analizy statystycznej, jak i nowoczesne podejścia, w tym sztuczne sieci neuronowe, kinematykę bryły sztywnej oraz analizę probabilistyczną. Najciekawszym aspektem pracy jest wprowadzenie innowacyjnej metody prognozowania błędów powtarzalności pozycjonowania przy użyciu sztucznych sieci neuronowych. Autor wykazał, że taka metoda może osiągać większą dokładność niż modele oparte na strukturze kinematycznej robota. Otrzymane wyniki wskazują na potencjał tej metody w doskonaleniu systemów montażowych oraz optymalizacji procesu

montażu. Ważnym wkładem w rozwój dyscypliny inżynierii mechanicznej jest także opracowanie metodyki wyznaczania poziomu montowalności części maszyn, uwzględniającej wpływ błędów robota i jego oprzyrządowania. Autor dokładnie opisał procesy badawcze i numeryczne, wykazując, że uzyskane modele są adekwatne na istotnym poziomie istotności. Praca w pełni wpisuje się w nurt dynamicznie rozwijających się obecnie metod sztucznej inteligencji, zwłaszcza poprzez zastosowanie sztucznych sieci neuronowych w prognozowaniu błędów pozycjonowania robotów przemysłowych.

Pomimo imponującej biegłości Autora w korzystaniu z zaawansowanych metod analizy danych; warto zaznaczyć, że jego propozycje opierają się na solidnych podstawach analizy statystycznej. Takich jak: analiza dwuwymiarowych zmiennych losowych, sploty ich rozkładów prawdopodobieństwa, testowanie hipotez statystycznych za pomocą uznanych testów, estymacja parametrów modeli regresji czy analiza dwuwymiarowych wskaźników zdolności procesów. Te metody są powszechnie stosowane w każdym z obszarów tematycznych, które Autor rozważał. Stanowi to mocną stroną warsztatu badawczego Autora, zważywszy, że każdy naukowiec powinien być zaznajomiony z tymi technikami podczas analizy wyników pomiarów i/lub stosowania modelowania statystycznego. W omawianym kontekście, ze względu na powszechną znajomość użytych i proponowanych przez Autora metod statystycznych, trudno uznać je za wkład istotny dla rozwoju dyscypliny. W mojej ocenie, na etapie ubiegania się o stopień doktora habilitowanego, te propozycje są niewystarczające do oceny osiągnięcia naukowego na poziomie bardzo dobrym. Niemniej jednak, ogrom pracy włożony przez Autora w poszukiwanie nowych modeli a także wariantowanie różnych propozycji oraz badanie błędów metody, zwłaszcza w propozycjach korzystających z sieci neuronowych, stanowi mocną stroną tej pracy. To klasyczna walidacja metod. W takim kontekście można uznać, że badania nad nowymi zastosowaniami w obszarze montowalności zespołów części maszyn stanowią znaczący wkład w rozwój dyscypliny, tj. inżynierii mechanicznej.

Podsumowując, oceniane osiągnięcie naukowe skoncentrowane jest na rozwinięciu nowatorskich podejść do prognozowania błędów pozycjonowania i ich powtarzalności w zrobotyzowanym montażu, co stanowi istotny krok naprzód w doskonaleniu systemów montażowych. W przyszłości (co zauważa Autor) ważnym kierunkiem badań może być rozwój oprogramowania wspomagającego projektowanie systemów montażowych oraz dalsze badania dotyczące wpływu nowoczesnych technologii, takich jak sztuczna inteligencja i systemy wizyjne, na błędy generowane przez elementy wykonawcze automatycznych stanowisk montażowych. Z przedstawionej dokumentacji wynika, że osiągnięcie naukowe „*Analiza wpływu parametrów i błędów systemów montażowych na montowalność połączeń łączonych z luzem oraz zgrzewanych tarciowo z przemieszaniem*” dr. inż. Rafała Kluza spełnia kryterium prymarne (tzn. stanowi znaczny wkład w rozwój dyscypliny inżyniera mechanicznej) wymagane przez odpowiednią ustawę dla osób ubiegających się o nadanie stopnia naukowego doktora habilitowanego, osiągając je na poziomie dobrym.

4. Dyskusja konstruktywna⁴

Montowalność (przytoczona przez Autora z [Łunarski 2017]), w kontekście montażu automatycznego, definiowana jest na str. 16 jako „... *prawdopodobieństwo poprawnego zmontowania części przy jednoczesnym spełnieniu wymagań jakościowych i wydajnościowych* ...”. Dalej uszczegóławia się, że uzależniona jest głównie od dokładności systemu montażowego oraz dalej od, technologiczności części, tolerancji wykonania oraz zdatności urządzenia montażowego do zapewnienia odpowiedniego wzajemnego zorientowania części przed wykonaniem zabiegu montażowego. Powyższa definicja dostarcza ogólnej koncepcji montowalności, ale mogłaby być

⁴ Czekam (pod adresem: Paweł.Majda@zut.edu.pl) na pisemną odpowiedź do pytań sformułowanych w tym punkcie recenzji.

bardziej przejrzysta i zilustrowana konkretnymi przykładami, aby ułatwić zrozumienie czytelnikom. Dodatkowo, niektóre kwestie mogłyby zostać bardziej szczegółowo wyjaśnione, aby dostarczyć czytelnikowi pełniejszego obrazu tematu. By stwierdzić, kiedy części są poprawnie zmontowane trzeba przyjąć kryteria i/lub warunki tej poprawności (zresztą wyjaśnione jest w tekście dalej, że są to tzw. warunki montowalności). Zatem po co w powyższej definicji narzuca się dodatkowe spełnienie wymagań jakościowych i wydajnościowych? Czyli wymagań sformułowanych bardzo ogólnie. Zakładam zatem (a czytając definicję nie powinienem tego robić, jeśli definicja ma coś definiować) by zrozumieć tą definicję, że poprawny montaż części odnosi się do szczegółowego kryterium a nie ogólnego które jest sprecyzowane w końcowej części definicji. W istocie z dalszego tekstu monografii wynika, że chodzi konkretnie o dokładność geometryczną (czy to systemu montażowego: dokładność, powtarzalność itp., dokładność robota czy także samych komponentów podlegających montażowi). A może jest inaczej, jeśli moje założenie jest błędne? Ale, jeśli jest poprawne to po co parametry (wielkości) charakteryzujące dokładność geometryczną nazywać montowalnością? To nie koniec problemów ze zrozumieniem pojęcia montowalności, bo na str. 16 są dwa równania (2.1) oraz (2.2) przytoczone z pozycji literaturowej⁵. Definiują one tzw. warunki montowalności. Wynika z nich, że dopuszczalne odchyłki (liniowe i kątowe) mogą być większe od wartości przyjętych tolerancji dla łączonych części. W tekście pod tymi wzorami na stronie 17 z kolei jest napisane, że części uważa się za zmontowane (tj. pewne połączenie) gdy max odchyłki (czyli także dopuszczalne) nie przewyższają przedmiotowej tolerancji. Zatem tekst jest sprzeczny z sensem równań. Podobno (bo nie ma jednoznacznych dowodów że w istocie tak było) Albert Einstein stwierdził: „... jeśli nie potrafisz w prosty sposób wytłumaczyć konkretnego pojęcia i rzeczy odnoszących się do niego to znaczy, że sam tego pojęcia nie rozumiesz”. Zasada ta sugeruje, że prawdziwe zrozumienie jakiegoś zagadnienia objawia się zdolnością do jasnego i prostego wyjaśniania go innym. Niejasne lub zawile tłumaczenie może świadczyć o powierzchownym lub niewystarczającym zrozumieniu danego tematu. Odnoszę wrażenie, że tak właśnie jest w przypadku przytaczanej tu definicji montowalności. A może montowalność jest tak trudnym pojęciem, że nie można go wytłumaczyć w prosty sposób? Ze względu na temat osiągnięcia naukowego kluczowym jest zrozumienie semantyki pojęcia montowalność. Dlatego proponuję dr. inż. Rafałowi Kluz podjęcie wyzwania i zdefiniowanie pojęcia montowalności w jednym niedługim akapicie tekstu. Do tego opis dwóch konkretnych przykładów by rozwiązać ostateczne wątpliwości zrozumienia pojęcia montowalności.

Opracowanie redakcyjne monografii oceniam na bardzo wysokim poziomie. Mało błędów typograficznych tj. literówek, brak widm na końcu wiersza, brak błędów w numeracji, układzie graficznym, justowaniu itp. świadczą istotnym wkładzie pracy Autora w jej opracowanie. Ale pojęcia:

- „...wartość tolerancji...” na str. 16 zamiast przedział tolerancji,
- „... wielkość powierzchni...” na str. 16 (wyrażona w jednostce długości, jeśli miałoby mieć sens równanie, w którym go użyto w monografii) zamiast wartość pola powierzchni,
- pojęcie „... błąd powtarzalności pozycjonowania...” używane w całej monografii, zamiast pojęcia powtarzalność pozycjonowania, którego Autor używał incydentalnie i zamiennie z diskutowanym tu pojęciem,
- cztery cyfry znaczące wyników pomiarów i wyników symulacji używane masowo w całej objętości monografii (nawet nie chce mi się tego komentować – odsyłam Autora do licealistów by mu to wytłumaczyli po lekcjach fizyki),
- „... kolumny pomiarowej...” na str. 66 zamiast np. układu akwizycji,

⁵ Przytaczana pozycja [Chereshnia i Berman 2022] nie zawiera cytowanych przez Autora ocenianej monografii równań.

nie powinny mieć miejsca w osiągnięciu naukowym osoby ubiegającej się o stopień doktora habilitowanego.

Przy wpisywaniu pojęcia "błąd powtarzalności pozycjonowania" do przeglądarki internetowej natrafiłem na 32 wyniki. Ta liczba wydaje się być stosunkowo mała. Po dodaniu "-Kluz", ilość wyników zmniejszyła się do 6. Wniosek, jaki nasuwa się z tego, to że w Polsce głównie Pan stosuje to konkretne pojęcie. Jednakże, skąd pomysł na jego zastosowanie? Norma ISO-9283 przecież nie zawiera definicji takiego pojęcia a w monografii także nie zdefiniowano tego pojęcia. W obszarze metrologii, pojęcie "błąd" posiada ściśle określone znaczenie. Niemniej jednak, Autor monografii posługuje się terminem "błąd" (przy omawianiu wyników pomiarów i symulacji) w kontekście innym niż metrologii, dostosowując go do własnych potrzeb. To wywołało we mnie zainteresowanie, ponieważ wyobrażając sobie badania "błędu powtarzalności pozycjonowania", byłbym zainteresowany rezultatami, które mogłyby dostarczyć informacji o odtwarzalności błędu pozycjonowania. Takie badania są szczególnie interesujące z perspektywy metrologii, gdyż tradycyjnie dostarczają informacji o najważniejszych składnikach budżetowania niepewności w kontekście dowolnych pomiarów. Jednakże, z drugiej strony, byłem niezwykle rozczarowany brakiem zrozumienia przez Autora monografii semantyki pojęcia "błąd". Z lektury monografii wynika bowiem, że badania nad "błędem powtarzalności pozycjonowania" odnoszą się jedynie do pomiarów wielkości charakteryzujących rozrzut błędu pozycjonowania robotów przemysłowych. Nieznajomość dokładnego znaczenia pojęcia "błąd" w tym kontekście skutkowałą brakiem zrozumienia treści monografii przez czytelnika a nawet jego poirytowaniem. Alternatywnie, możemy wzajemnie ignorować ten fakt, kiwając głową, tzn. udając, że rozumiemy o czym rozmawiamy. Pozostawiam to otwarte zagadnienie do przemyślenia dla Autora. Czy możliwe jest, że to czytelnicy monografii powinni dedukować znaczenie terminów zaproponowanych przez dr. inż. Rafała Kluzę?

Problemem w recenzowanym opracowaniu naukowym jest częste używanie przez Autora zapisu liczb z dokładnością do czwartej cyfry znaczącej. Pozostawiam ten fakt bez mojego komentarza. Jednakże, tak fundamentalne błędy są ściśle powiązane z brakiem zrozumienia innych zagadnień, które ujawniły się u Autora monografii. Przykładowo, Autor zdaje się opanować sztukę wykonywania "bezbłędnych pomiarów", co bezpośrednio wpływa na wiarygodność wniosków w jego rozważaniach. W rozdziale 3.3.1 wymieniono charakterystyki metrologiczne czujników i układu akwizycji sygnałów pomiarowych, ale Autor nie wykorzystuje tej informacji, pozostawiając czytelnika z pytaniem o sensowność tych danych. Stąd, wynika (i jest w istocie regułą powszechnie spotykaną), że charakterystyki wyposażenia metrologicznego, mimo że zostały podane, nie mają istotnego wpływu na budżetowanie niepewności pomiarów, zwłaszcza w przypadku pomiarów wielkości geometrycznych i mechanicznych. To mogłoby być wygodne dla osób, które nie uświadamiają sobie możliwości wystąpienia innych źródeł błędów w pomiarach. To uzasadniałoby brak wykonywania analizy niepewności pomiaru. Ale, najważniejszymi składnikami w budżetowaniu niepewności pomiarów dla omawianych wielkości (w tym także wielkości rozpatrywanych w monografii) są zazwyczaj składowe związane z odtwarzalnością ze względu na zmiany wykonawcy pomiarów i wyposażenia metrologicznego, niepewności wzorcowania tegoż wyposażenia, zmiany czasu i strategii wykonania pomiarów, a głównie zmianę metody pomiarowej. Zastosowana przez Autora metoda jest przecież jedną z wielu możliwości a zatem jest także zmienną losową. Autor jednak skupia się jedynie na wynikach pomiarów o charakterze pojedynczej realizacji zmiennej losowej, co może wprowadzać błąd interpretacji dla uzyskanych wyników. Jest to bezpośrednia konsekwencja pominięcia w badaniach niepewności pomiarów. Pytania o sens liczenia wskaźników zdolności procesu w oparciu o takie wyniki pomiarów oraz o porównywanie wyników modelowania z wynikami pomiarów bez uwzględnienia ich niepewności pozostają zatem bez odpowiedzi. Taka praktyka podważa wiarygodność, na przykład, wskaźników zdolności procesu, które zostały wyznaczone przez Autora w rozdziale 3.3.2, co staje się podstawą do kwestionowania jego stanowiska. Przecież składowa

niepewności bezpośrednio wpływa na wartość mianownika podczas obliczania omawianych wskaźników. Warto zauważyć, że porównywanie wyników symulacji z wynikami pomiarów bez uwzględnienia niepewności pomiarów może prowadzić do fałszywych wniosków i/lub całkowicie zmienić już istniejące, jeśli w porównaniach niepewność się uwzględni. Jest to istotne zwłaszcza w naukach technicznych, gdzie precyzja i rzetelność danych są kluczowe. Powinno to także być zrozumiałe dla osoby rozumiejącej sens testowania hipotez statystycznych o równości lub jej braku dla wartości oczekiwanych. Oceniam, że około 90 % moich kolegów "badaczy" w moim otoczeniu nie zdaje sobie sprawy z istoty omawianego problemu. Wynika to z tego, że ci "badacze" nigdy nie mieli potrzeby zweryfikowania dokładności uzyskania wyników pomiarów. Czy Autor monografii również przynależy do tej grupy?

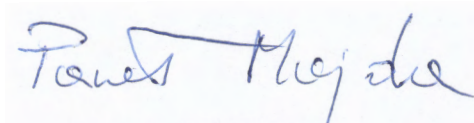
Autor monografii zignorował problem dokładności uzyskiwanych wyników pomiarów. Czy, zdaniem Autora, można obecnie uzasadnić mierzenie wielkości charakteryzujących dokładność i powtarzalność pozycjonowania robotów przemysłowych bez wykorzystania interferometrii laserowej? Proszę nie traktować powyższego pytania jako retorycznego, zwłaszcza w kontekście potencjalnego użycia metod wizyjnych lub laser trackerów, które nie są w stanie sprostać wymaganiu uzyskania pożądanej niepewności dyskutowanych tu pomiarów.

Przedstawione wyżej uwagi w charakterze otwartej dyskusji nie zmniejszają mojej wysokiej oceny treści zawartej w monografii. Wymieniłem je w celu zwrócenia uwagi na zagadnienia wymagające przemyślenia podczas kontynuowania dalszych badań. Pod względem merytorycznym oceniam rozważania wysoko, bowiem stanowią istotny wkład w rozwój dyscypliny inżynierii mechanicznej z ukierunkowaniem na ocenę dokładności i powtarzalności pozycjonowania robotów przemysłowych i procesów montażu części z ich użyciem.

5. Wniosek końcowy

W podsumowaniu mojej recenzji stwierdzam, że osiągnięcie naukowe zatytułowane „*Analiza wpływu parametrów i błędów systemów montażowych na montowalność połączeń łączonych z luzem oraz zgrzewanych tarciovo z przemieszaniem*” przedłożone przez dr. inż. Rafała Kluza spełnia wymagania i kryteria obowiązującej Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (tj. Dz. U. z 2023 r. poz. 742 1088, 1234, 1672, 1872, 2005) i stanowi solidną podstawą do ubiegania się o nadanie stopnia naukowego doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.

W związku z powyższym wnoszę o dopuszczenie dr. inż. Rafała Kluza do kolejnych etapów postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego.



Szczecin 28/12/2023