

dr hab. inż. Maciej Sułowicz, prof. PK
Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki
Wydział Inżynierii Elektrycznej i Komputerowej
Ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków

Kraków, 17.03.2025 r.

SEKRETARIAT
Rady Dyscypliny AEEITK

RECENZJA

Wpłynęło dnia 3.04.2025

Zarejestrowano pod nr 511-1-13/25

Podpis 

dotycząca osiągnięcia naukowego
oraz istotnej aktywności naukowej

dr. inż. Krzysztofa Lalika

ubiegającego się o uzyskanie stopnia doktora habilitowanego
w dyscyplinie **automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne**

1. PODSTAWY FORMALNE RECENZJI

Recenzję przygotowałem na mocy uchwały nr 1/2025 Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie z dnia 9 stycznia 2025 r. w sprawie: powołania komisji habilitacyjnej w postępowaniu o nadanie stopnia doktora habilitowanego dr. inż. Krzysztofowi Lalikowi, w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne.

Rada Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne działając na podstawie art. 221 ust. 2 ustawy z dn. 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (Dz. U. 2024 poz. 1571) oraz § 25 Statutu Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie (Uchwała nr 123/2023 Senatu AGH z dnia 27 września 2023 r.) i § 5, ust.1 Uchwały nr 136/2023 Senatu AGH z dnia 29 listopada 2023r. w sprawie „Zasad i trybu postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego w Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie”, która powołała komisję habilitacyjną w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego dr. inż. Krzysztofowi Lalikowi powierzając mi funkcję recenzenta.

Podstawą opracowania recenzji było pismo nr WEAlIB-b/511-1-5/24 dr. hab. inż. Ryszarda Sroki, prof. AGH Przewodniczącego Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Akademii Górniczo-Hutniczej z dnia 13.01.2025 r. informujące o ww. uchwale wraz dokumentacją przygotowaną przez dr. inż. Krzysztofa Lalika w formie papierowej i elektronicznej na pamięci przenośnej pendrive zawierającej wniosek i następujące załączniki:

1. Dane wnioskodawcy.
2. Kopia dokumentu potwierdzającego posiadanie stopnia doktora.
3. Autoreferat.
4. Wykaz osiągnięć naukowych.
5. Oświadczenia współautorów artykułów.
6. Cykl powiązanych tematycznie artykułów.

2. OGÓLNE INFORMACJE O HABILITANCIE

Krzysztof Lalik ukończył w dniu 07.07.2009 r. studia na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie na kierunku Automatyka i Metrologia, uzyskując tytuł zawodowy magistra inżyniera.

Stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie Mechanika i Budowa Maszyn Habilitant uzyskał na podstawie obronionej rozprawy doktorskiej pt. „Zintegrowany system autodynowy w pomiarze przyrostu naprężeń” na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Robotyki AGH w dniu 30.10.2014 r. Promotorem rozprawy był prof. dr hab. inż. Janusz Kwaśniewski.

Habilitant od 2009 roku związany jest z Akademią Górniczo-Hutniczą im. Stanisława Staszica w Krakowie, gdzie w Katedrze Automatyzacji Procesów pracował w okresie od 10.2009-11.2012 na stanowisku pracownika naukowego. Później w tej samej katedrze był zatrudniony na stanowisku asystenta naukowo-dydaktycznego w okresie 12.2012-11.2014. Od 12.2014 do dziś jest zatrudniony jako adiunkt naukowo-dydaktyczny również w Katedrze Automatyzacji Procesów, AGH.

3. OCENA OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO HABILITANTA

3.1. WAŻNOŚĆ I AKTUALNOŚĆ TEMATYKI

Podstawą do ubiegania się o uzyskanie stopnia naukowego doktora habilitowanego nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne zgodnie z art. 219 ust. 1 pkt. 2b ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.) jest cykl powiązanych tematycznie 10 artykułów naukowych opublikowanych w czasopismach naukowych wchodzących skład osiągnięcia naukowego pod wspólnym tytułem:

„Inteligentne systemy diagnostyczne i sterowania wspomagane sztucznymi sieciami neuronowymi”.

oraz

zrealizowane 2 oryginalne osiągnięcia projektowe, konstrukcyjne, technologiczne pt.:

1. *„Analiza danych procesowych w zakresie rozwiązania zadania optymalizacji statycznej z ograniczeniami dla wskaźników technologicznych oceny procesu mielenia wapienia z wykorzystaniem różnych modeli procesu i Uczenia Głębokiego”.*
2. *„Opracowanie zaawansowanego systemu wdrożenia i utrzymania autonomicznego przemysłowego robota serwisowego wykorzystującego innowacyjne algorytmy machine learning i rozwiązania cyfrowego bliźniaka”.*

Lista publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego:

- [H1] Influence of acoustoelastic coefficient on wave time of flight in stress measurement in piezoelectric self-excited system/ Janusz KWAŚNIEWSKI, Ireneusz DOMINIK, **Krzysztof LALIK**, Karolina HOLEWA// Mechanical Systems and Signal Processing; ISSN 0888-3270. - 2016 vol. 78, IF=7.9
- [H2] Integrated stress measurement system in tower crane mast / **Krzysztof LALIK**, Ireneusz DOMINIK, Paweł CWIĄKAŁA, Janusz KWAŚNIEWSKI// Measurement; ISSN 0263-2241. -. 102, IF=5.2
- [H3] Modeling of self-excited stress measurement system / Ireneusz DOMINIK, **Krzysztof LALIK**, Stanisław FLAGA// Journal of Low Frequency Noise Vibration and Active Control; ISSN 1461-3484. - 2021 vol. 40 iss. 2, IF=2.3
- [H4] Non-destructive acoustical rock bolt testing system with intelligent filtering in Salt Mine 'Wieliczka' / **Krzysztof LALIK**, Ireneusz DOMINIK, Paweł Gut, Krzysztof SKRZYPKOWSKI, Waldemar

- KORZENIOWSKI, Krzysztof ZAGÓRSKI// *Energies*; ISSN 1996-1073. - 2021vol. 14 iss. 17 art. no. 5522, 1-16., IF=3.0
- [H5] Autonomous machine learning algorithm for stress monitoring in concrete using elastoacoustical effect / **Krzysztof LALIK**, Mateusz KOZEK, Ireneusz DOMINIK// *Materials* [Dokument elektroniczny]. - Czasopismo elektroniczne; ISSN 1996-1944. - 2021vol. 14 iss. 15 art. no.4116, s. 1-14., IF=3.4
- [H6] Boosted convolutional neural network algorithm for the classification of the bearing fault form 1-D raw sensor data/ Paweł Knap, **Krzysztof LALIK**, Patryk BAŁAZY // *Sensors*; ISSN 1424-8220. - 2023 vol. 23 iss. 9 art. no.4295, s. 1-22., IF=3.7
- [H7] Predictive maintenance neural control algorithm for defect detection of the power plants rotating machines using augmented reality goggles / **Krzysztof LALIK**, Filip WĄTOREK; // *Energies* ISSN 1996- 1073. - 2021vol. 14 iss. 22 art. no. 7632, s. 1-18., IF=3.0
- [H8] Application of ANN control algorithm for optimizing performance of a hybrid ORC power plant/ Szymon PODLASEK, Marcin JANKOWSKI, Patryk BAŁAZY, **Krzysztof LALIK**, Rafał FIGAJ // *Energy*; ISSN 0360-5442. - 2024 - vol. 306 art. no. 132082, s. 1-19. - Bibliogr. s. 18-19., IF=9.0
- [H9] Neural algorithm for optimization a multidimensional object controller parameters / Patryk BAŁAZY, **Krzysztof LALIK**, Paweł KNAP// *Neural Computing & Applications*; ISSN 0941-0643. - 2024, IF=4.7
- [H10] Neural nonparametric stability indicator for self-excited dynamical systems / **Krzysztof LALIK**// *IEEE Access* [Dokument elektroniczny]. - Czasopismo elektroniczne; ISSN 2169-3536. - 2024 - vol. 12, s. 96126-96137., IF=3.7

W dobie rosnącej złożoności systemów technicznych wymagane jest podniesienie ich niezawodności i pewności działania z zachowaniem wysokich standardów bezawaryjnej pracy. Do zapewnienia tych wymagań poszukuje się obiektywnych metod i środków, które umożliwią spełnienie tych wymagań.

Aktualnie obserwuje się dynamiczny rozwój metod sztucznej inteligencji w wielu obszarach zastosowań. Metody sztucznej inteligencji, a w szczególności sieci neuronowe o uczeniu głębokim, są coraz powszechniej wykorzystywane do opracowania innowacyjnych algorytmów diagnostycznych o wysokiej skuteczności rozpoznawania uszkodzeń. Sieci neuronowe również umożliwiają osiągnięcie niespotykanej dotychczas precyzji i efektywności w zadaniach sterowania obiektów.

Tematyka przedstawiona w cyklu powiązanych tematycznie publikacji przez Habilitanta dotyczy opracowania nowych oraz rozwój istniejących metod w dziedzinie wspomagania sieciami neuronowymi procesów sterowania, monitorowania naprężeń i diagnozowania uszkodzeń. W poszczególnych składowych osiągnięcia naukowego skupiono się na modelowaniu, projektowaniu i badaniach eksperymentalnych metod diagnozowania uszkodzeń. Przeprowadzone wieloprzekrojowe analizy w sposób kompleksowy obrazują wpływ wybranych algorytmów i metod na poprawę skuteczności diagnostyki z wykorzystaniem Samowzbudnego Systemu Akustycznego (SAS).

Przedstawione w artykułach Habilitanta informacje są według mnie ważne i można je wykorzystać w procesie projektowania odpornych układów sterowania i poprawy skuteczności oceny diagnostycznej powstających w nadzorowanych obiektach uszkodzeń.

Tematykę przedstawionego przez Habilitanta do oceny osiągnięcia naukowego pt. *„Inteligentne systemy diagnostyczne i sterowania wspomagane sztucznymi sieciami neuronowymi”* uważam za aktualną i będącą w głównym nurcie badawczym związanym z rozwojem i aplikacją metod sztucznej inteligencji do rozwiązywania różnych zagadnień technicznych. Rozwijanie tej tematyki jest jak najbardziej uzasadnione zarówno pod względem naukowym jak również pod względem praktycznej aplikacji wypracowanych skutecznych metod diagnostycznych obiektów technicznych i sterowanie wspomagane metodami sztucznej inteligencji.

3.2. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA GŁÓWNEGO OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO

Autor wniosku z uwagi na zauważony przez Niego brak w metodologii projektowania i modelowania metod wspomaganych sieciami neuronowymi procesów sterowania, monitorowania naprężeń i diagnozowania uszkodzeń skupił się na opracowaniu nowych oraz rozwoju istniejących metod w tym obszarze.

Rezultaty swoich badań Habilitant zawarł w cyklu powiązanych tematycznie publikacji zawierający dziesięć artykułów naukowych oraz w dwóch zrealizowanych oryginalnych osiągnięciach projektowych, konstrukcyjnych, technologicznych. Autor zaprezentował interdyscyplinarne zagadnienia związane z diagnostyką i sterowaniem wspomaganiem przez sieci neuronowe ze szczególnym uwzględnieniem systemów samowzbudnych. Skupił się na modelowaniu, projektowaniu i badaniach eksperymentalnych metod diagnozowania uszkodzeń i sterowania obiektami technicznymi.

Pierwsze trzy artykuły osiągnięcia [H1-H3] przybliżają podstawową architekturę systemu SAS wraz z teoretycznym wyprowadzeniem podstawowych formuł i równań.

W czwartym artykule [H4] skoncentrowano się na opracowaniu aktywnego, adaptacyjnego układu sterowania systemem SAS, który pozwolił na znaczne ograniczenie niedogodności związanych z przeskokami częstotliwości charakterystycznych dla układów nieliniowych.

W kolejnym piątym artykule [H5] Habilitant przedstawił nowy sposób wspomagania interpretacji charakterystyk częstotliwościowych układu sterowania SAS z użyciem metod uczenia maszynowego.

W kolejnym szóstym artykule [H6] zaproponowano innowacyjne podejście do detekcji uszkodzeń łożysk tocznych w maszynach wirujących. Wykorzystano tu w algorytmie diagnostycznym zmodyfikowaną architekturę konwolucyjnych sieci neuronowych (CNN).

W siódmym artykule [H7] skoncentrowano się na zastosowaniu sieci neuronowych do wykrywania uszkodzeń. Jako nowe źródło danych, zaproponowano okulary rzeczywistości rozszerzonej (AR) i zaimplementowano innowacyjną platformę pomiarową łączącą technologię rzeczywistości rozszerzonej z zaawansowanymi algorytmami uczenia maszynowego.

W kolejnym ósmym artykule [H8] przedstawiono algorytmy sterowania oparte na sieciach neuronowych opracowane do optymalizacji rocznej pracy hybrydowej elektrowni zasilanej energią słoneczną i geotermalną.

W artykule dziewiątym [H9] przedstawiono nowe rozwiązanie dotyczące neuronowego sterowania wielowymiarowymi systemami nieliniowymi. Jako obiekt wybrano suwnicę bramową o pięciu stopniach swobody, dla której opracowano bezmodelowy algorytm sterowania neuronowego opartego na uczeniu ze wzmocnieniem.

W ostatnim dziesiątym artykule [H10] osiągnięcia naukowego przedstawiono innowacyjną metodę wykorzystującą sieci neuronowe głębokiego uczenia do estymacji funkcji Lapunowa w systemach dynamicznych systemu SAS.

W pierwszym z dwóch zrealizowanych oryginalnych osiągnięciach projektowych, konstrukcyjnych, technologicznych związanym z oceną i optymalizacją pracy układu technologicznego przeróbki wapienia opracowano modele neuronowe, które posłużyły do minimalizacji kosztów przerobu oraz maksymalizacji wydajności pracy zakładu produkcyjnego przy ograniczeniu zużycia mediów.

W drugim osiągnięciu projektowym związanym z opracowaniem zaawansowanego systemu

wdrożenia i utrzymania autonomicznego przemysłowego robota serwisowego wykorzystującego innowacyjne algorytmy machine learning i rozwiązania cyfrowego bliźniaka opracowano system automatyzujący użytkowanie robotów serwisowych w nowym środowisku produkcyjnym.

Cykl dziesięciu publikacji osiągnięcia naukowego oraz dwóch osiągnięć projektowym łączy wspólny element, którym jest opracowania nowych jak i rozwój istniejących metod w dziedzinie wspomaganych metodami sztucznej inteligencji procesów sterowania, monitorowania i diagnozowania uszkodzeń w obiektach technicznych.

Zawartość treści w pracach osiągnięcia naukowego Habilitanta jest logiczna. Wykaz najważniejszej literatury dobranej do wstępu wskazują na dobre rozeznanie Autora w obszarze wiedzy, którego dotyczy przedstawione osiągnięcie naukowe.

3.3. OCENA WARTOŚCI NAUKOWEJ GŁÓWNEGO OSIĄGNIĘCIA

Celowość wyboru i potrzebę rozwijania zagadnień badawczych będących przedmiotem osiągnięcia „*Inteligentne systemy diagnostyczne i sterowania wspomagane sztucznymi sieciami neuronowymi*”, oceniam bardzo pozytywnie.

W przedkładanym cyklu publikacji Habilitant skoncentrował się na interdyscyplinarnych zagadnieniach związanych z diagnostyką i sterowaniem wspomaganych przez sieci neuronowe ze szczególnym uwzględnieniem systemów samowzbudnych.

W publikacjach [H1-H3] Habilitant przedstawił sposób rozbudowy podstawowej struktury Samowzbudnego Systemu Akustycznego (SAS). Prowadzone zmiany polegały na integracji modeli efektu elastoakustycznego przetworników piezoelektrycznych (modelu Dahla dla głowicy nadawczej, modelu transmitacyjnego dla głowicy odbiorczej) oraz modelu układu z opóźnieniem i dodatnim sprzężeniem zwrotnym [H1]. Habilitant dla tych zmian wyprowadził teoretyczne zależności między częstotliwością cyklu granicznego systemu SAS a naprężeniami w badanym materiale. Przeprowadzono weryfikację eksperymentalną opracowanych modeli oraz zidentyfikowano kluczowe parametry wpływające na dokładność i niezawodność systemu SAS. Wyprowadzanie tych zależności stanowi istotny postęp w monitorowaniu naprężeń.

W publikacji [H2] przedstawiono nowy model fizyczny systemu SAS, oparty na analogii z rezonatorem kwarcowym.

W celu dokładniejszego opisu zachowania systemu SAS, opracowano również dwa modele systemu wykonawczego oraz model obciążonej belki poddanej ściskaniu osiowemu. Opisano to w publikacji [H3]. W artykule tym pokazano, że połączenie tych modeli umożliwiło określenie zależności między pulsacją systemu samowzbudnego a naprężeniami w materiale.

W dalszych pracach [H4-H5] Habilitant zidentyfikował kluczowe wyzwania, takie jak niepożądane przejścia między cyklami granicznymi oraz trudności w interpretacji wyników w obecności defektów materiału. W artykule [H4] opisano algorytm sterowania adaptacyjnego, który na bieżąco dostosowuje parametry systemu w odpowiedzi na jego aktualny stan. Algorytm ten został zaimplementowany w platformie FPGA, co pozwoliło na realizację zadań sterowania w czasie rzeczywistym.

Poprzez zastosowanie algorytmów uczenia maszynowego i opracowanie aktywnych, adaptacyjnych układów sterowania, Habilitant zwiększył precyzję i niezawodność systemu diagnostycznego.

W artykule [H5] przedstawiono nowy sposób wspomagania interpretacji charakterystyk częstotliwościowych z użyciem uczenia maszynowego. Opisano projekt i realizację autonomicznego algorytmu uczenia maszynowego, który umożliwia analizę sygnałów z Samowzbudnego Systemu Akustycznego i implementację analizy widma (SAS) w czasie rzeczywistym.

Wprowadzenie przeze Habilitanta autonomicznych algorytmów uczenia maszynowego pozwoliło na eliminację konieczności znajomości współczynnika elektroakustycznego co pozwoliło znacznie uprościć cały proces diagnostyczny.

W artykułach [H6-H7] Habilitant rozszerzył zastosowanie sieci neuronowych na diagnostykę predykcyjną maszyn wirujących oraz integrację z technologią rozszerzonej rzeczywistości.

Zastosował zmodyfikowaną architekturę konwolucyjnych sieci neuronowych (CNN), w której zastosował bezpośrednią analizę surowych danych pomiarowych z czujników wibracji. Wprowadzona modyfikacja opisana w artykule [H6] pozwoliła na skuteczne filtrowanie szumów i zakłóceń obecnych w sygnale pomiarowym, co jest szczególnie istotne w warunkach przemysłowych. Opracowany przez Habilitanta model 1D CNN przewyższa znacznie tradycyjne metody oparte o analizę spektralną jak i metody oparte o klasyczne sieci neuronowe typu perceptronu wielowarstwowego MLP.

W artykule [H7] przedstawiono implantację innowacyjnej platformy pomiarowej, która integruje technologię rzeczywistości rozszerzonej (AR) z zaawansowanymi algorytmami uczenia maszynowego. W ramach badań eksperymentalnych przeprowadzono testy na modelu turbiny wiatrowej, dla której symulowano różne stany pracy normalnej i pracy z uszkodzeniami. Dzięki wykorzystaniu metody analizy obrazu markerów oraz odpowiednio zaprojektowanych sieci neuronowych uzyskano wysoką dokładnością klasyfikacji uszkodzeń. Na szczególną uwagę zasługuje podkreślenie faktu, że Habilitant opracował system umożliwiający bezkontaktowe monitorowanie stanu technicznego maszyn oraz prezentację wyników analizy w czasie rzeczywistym na interfejsie holograficznym.

Znacznym osiągnięciem Habilitanta jest opracowanie bezmodelowych metod sterowania nieliniowymi układami dynamicznymi z wykorzystaniem algorytmów uczenia ze wzmocnieniem [H8-H9]. W artykule [H8] opisano implementację nowatorskiego algorytmu sterowania pod nazwanego Deep Deterministic Policy Gradient (DDPG). Algorytm ten został zastosowany przez Habilitanta do optymalizacji rocznej pracy hybrydowej elektrowni opartej na cyklu organicznym Rankine'a (ORC), zasilanej energią słoneczną i geotermalną. Pozornie nie związane z tematyką SAS algorytmy DDPG okazały się niezwykle wartościowe również w kontekście sterowania SAS.

W artykule [H9] bliżej przedstawiono istotne osiągnięcie naukowe, którym jest implementacja bezmodelowego algorytmu sterowania neuronowego opartego na uczeniu ze wzmocnieniem (Reinforcement Learning, RL) dla suwnicy bramowej o pięciu stopniach swobody.

Opracowana metoda dostarcza nowej wiedzy na temat wykorzystania uczenia ze wzmocnieniem w sterowaniu wielowymiarowymi systemami nieliniowymi. Dzięki zastosowaniu tego podejściu rozwiązano ograniczenia tradycyjnych metod sterowania, takich jak regulator liniowo-kwadratowy (LQR). Metody te opierają się na linearyzacji i precyzyjnych modelach matematycznych systemu.

W pracach [H8-H9] wykazano, że opracowane algorytmy mogą skutecznie zastąpić tradycyjne metody sterowania, oferując lepszą jakość regulacji i adaptacyjność bez konieczności znajomości modelu matematycznego obiektu.

Najważniejszym osiągnięciem naukowym jest opracowanie nowej metody estymacji funkcji

Lapunowa dla układów nieliniowych przedstawionym w artykule [H10]. W samodzielnym artykule Habilitant przedstawił opis nowej autorskiej metody, opartej o sieci neuronowe, modelowania dynamiki systemu oraz estymacji funkcji Lapunowa na podstawie danych eksperymentalnych z systemu SAS.

Opracowana przez Habilitanta metoda umożliwia ocenę stabilności układów z regulatorami neuronowymi bez konieczności znajomości parametrów systemu i algebraicznej postaci funkcji Lapunowa. Zastosowanie tej metody pozwoliło na rozróżnienie między zmianami w dynamice systemu spowodowanymi naprężeniami materiału a obecnością defektów, poprzez analizę kształtu estymowanej funkcji Lapunowa. Można uznać, że opracowana metoda stanowi istotny wkład w teorię sterowania i otwiera nowe możliwości w monitorowaniu stanu konstrukcji z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych.

Łącznie, przedstawione artykuły stanowią istotny wkład w rozwój nowoczesnych metod diagnostyki i sterowania układów nieliniowych. Stwarzają nowe możliwości w monitorowaniu stanu konstrukcji i maszyn z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych.

Podsumowując mogę stwierdzić, że Habilitant przyczynił się do rozwiązania aktualnego problemu naukowo-technicznego wnosząc istotny wkład w rozwój nowoczesnych metod diagnostyki i sterowania układów nieliniowych z wykorzystaniem metod sztucznej inteligencji. Zrealizowane i udokumentowane prace stwarzają nowe możliwości w monitorowaniu stanu konstrukcji i maszyn z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych. W mojej ocenie osiągnięcie posiada aplikacyjny charakter, a jego dobry poziom naukowy nie budzi wątpliwości.

Za najważniejsze osiągnięcia naukowe Habilitanta w dziedzinie diagnostyki i sterowania układów nieliniowych, wykorzystując sztuczne sieci neuronowe zawarte w przedkładanym osiągnięciu uważam:

1. Opracowanie nowatorskiej, bezmodelowej metody estymacji funkcji Lapunowa w systemach dynamicznych umożliwiającej ocenę stabilności układów nieliniowych w szerszym zakresie przestrzeni stanów niż dotychczas.
2. Rozwinięcie podstawowej architektury Samowzbudnego Systemu Akustycznego (SAS), integrując modele efektu elastoakustycznego, przetworników piezoelektrycznych oraz układów z opóźnieniem i dodatnim sprzężeniem zwrotnym i wyprowadzenie zależności między częstotliwością cyklu granicznego systemu SAS a naprężeniami w badanym materiale, co stanowi istotny postęp w monitorowaniu naprężeń.
3. Opracowanie aktywnych, adaptacyjnych układów sterowania, zwiększającym precyzję i niezawodność systemu diagnostycznego dzięki zastosowaniu autonomicznych algorytmów uczenia maszynowego.
4. Opracowanie bezmodelowych metod sterowania nieliniowymi układami dynamicznymi z wykorzystaniem algorytmów uczenia ze wzmocnieniem. Implementacja tych metod w systemie SAS pozwoliła na eliminację efektu przeskoku między cyklami granicznymi, zwiększając stabilność i wiarygodność pomiarów.
5. Opracowanie nowej metody estymacji funkcji Lapunowa dla układów nieliniowych opartej o sieci neuronowe do modelowania dynamiki systemu oraz estymacji funkcji Lapunowa na podstawie danych eksperymentalnych z systemu SAS. Opracowana metoda stanowi istotny wkład w teorię sterowania i otwiera nowe możliwości w monitorowaniu stanu konstrukcji z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych.

Reasumując, wartość naukową osiągnięcia naukowego oceniam bardzo wysoko i moja ocena jest zdecydowanie pozytywna.

3.4. KONKLUZJA DOTYCZĄCA OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO

Uważam, że przedstawione przez dr. inż. Krzysztofa Lalika osiągnięcie naukowe pt.:

„Inteligentne systemy diagnostyczne i sterowania wspomagane sztucznymi sieciami neuronowymi”.

oraz

zrealizowane 2 oryginalne osiągnięcia projektowe, konstrukcyjne, technologiczne lub artystyczne, pt.:

1. *„Analiza danych procesowych w zakresie rozwiązania zadania optymalizacji statycznej z ograniczeniami dla wskaźników technologicznych oceny procesu mielenia wapienia z wykorzystaniem różnych modeli procesu i Uczenia Głębokiego”.*

2. *„Opracowanie zaawansowanego systemu wdrożenia i utrzymania autonomicznego przemysłowego robota serwisowego wykorzystującego innowacyjne algorytmy machine learning i rozwiązania cyfrowego bliźniaka”.*

spełniają wymogi art. 219 ust. 1 pkt 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2023 r. poz. 742 z późn. zm.) i wnoszą znaczący wkład w rozwój dyscypliny naukowej *automatyka, elektronika, elektronika i technologie kosmiczne* a w szczególności w rozwój w obszarze diagnostyki i sterowania układów nieliniowych z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych.

4. OCENA POZOSTAŁYCH OSIĄGNIĘĆ ŚWIADCZĄCYCH O ISTOTNEJ AKTYWNOŚCI NAUKOWEJ HABILITANTA

4.1. CHARAKTERYSTYKA DOROBKU NAUKOWEGO

Dorobek naukowy dr. inż. Krzysztofa Lalika po uzyskaniu stopnia doktora jest znaczący i obejmuje wymienione w wniosku osiągnięcia: monografie współautorskie (2), rozdziały w monografiach naukowych (4), artykuły w czasopismach naukowych i materiałach konferencyjnych (57), osiągnięcia projektowe, konstrukcyjne technologiczne (4), uczestnictwo w pracach zespołów badawczych realizujących projekty finansowane w drodze konkursów krajowych lub zagranicznych (5).

Do osiągnięcia naukowego pt. *„Inteligentne systemy diagnostyczne i sterowania wspomagane sztucznymi sieciami neuronowymi”* spośród 57 artykułów w czasopismach naukowych i konferencjach, wybrano 10 oraz spośród 4 osiągnięć projektowych, konstrukcyjnych, technologicznych wybrano 2, osiągnięcia, które zaznaczono w wykazie we wniosku.

W okresie po uzyskaniu przez Habilitanta stopnia doktora opublikował on 63 prace jako autor lub współautor. Monografia i rozdziały w monografii zostały wydane w wydawnictwach: BTC, Monografie Katedry Automatyzacji Procesów AGH oraz Springer Nature, Advances in Intelligent Systems and Computing. Artykuły zostały opublikowane w następujących czasopismach: ASTROPHYSICAL JOURNAL (1), ENERGIES (7), ENERGY (1), EUROPEAN PHYSICAL JOURNAL (1), IEEE ACCESS (1), JOURNAL OF LOW FREQUENCY NOISE VIBRATION AND ACTIVE CONTROL (2), MATERIALS (1), MEASUREMENT (1), MECHANICAL SYSTEMS AND SIGNAL PROCESSING (1), MECHATRONIC SYSTEMS AND MATERIALS (1),

SENSORS (3), STUDIA GEOTECHNICA ET MECHANICA (1).

Baza Web of Science (stan na dzień złożenia wniosku 25.10.2024 r.) podaje 43 pozycje, których dr inż. Krzysztof Lalik jest autorem lub współautorem. Znaczna większość z tych pozycji to artykuły w czasopiśmie (28). Pozostała część to materiały konferencyjne w czasopiśmie (5) i indeksowane materiały konferencyjne (10). Oprócz wyżej wymienionych czasopism w okresie pracy naukowej Habilitanta jego prace były publikowane w czasopiśmie: CONTROL ENGINEERING IN MATERIALS PROCESSING (1), JOURNAL OF APPLIED POLYMER SCIENCE (1), JOURNAL OF THEORETICAL AND APPLIED MECHANICS (1), JOURNAL OF VIBROENGINEERING (1), MATERIALS AND APPLICATIONS FOR SENSORS AND TRANSDUCERS (1), NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH (2).

Materiały konferencyjne w czasopiśmie zostały opublikowane w: GROUND-BASED AND AIRBORNE TELESCOPES (1), HIGH ENERGY GAMMA-RAY ASTRONOMY (1), HIGH ENERGY, OPTICAL, AND INFRARED DETECTORS FOR ASTRONOMY (1), INFORMATION TECHNOLOGY, SYSTEMS RESEARCH, AND COMPUTATIONAL PHYSICS (1), INTERNATIONAL JOURNAL OF APPLIED MATHEMATICS AND COMPUTER SCIENCE (1).

Zagadnienia związane z systemem SAS oraz sieciami neuronowymi są przedmiotem opublikowanych przez Autora wniosku 96 publikacji, rozdziałów w monografiach i książkach, których jest współautorem w całym okresie kariery naukowej. Rozwiązań związanych z systemem SAS dotyczą również niektóre wnioski patentowe i uzyskane patenty, których Habilitant jest współautorem.

Liczby cytowań publikacji podawanych przez Wnioskodawcę na dzień złożenia wniosku (25.10.2024 r.) odpowiednio wynoszą: baza Web of Science 221 cytowań (172 bez autocytowań) prac Habilitanta oraz h-indeks równy 10. Autor podaje sumaryczny Impact Factor swoich prac wg bazy JCR (Web of Science) IF = 79,40. Baza Scopus (stan na dzień 25.10.2024 r.) podaje, że publikacje Habilitanta są cytowane 386 (279 bez autocytowań) oraz h-indeks równy 11. Google Scholar (stan na dzień 25.10.2024 r.) podaje 97 pozycji publikacyjnych cytowanych 482 razy oraz h-indeks równy 12.

Na dzień opracowania recenzji (stan na dzień 15.03.2025 r.) wskaźniki naukometryczne uległy zmianie i wynoszą: baza Web of Science 279 cytowań (202 bez autocytowań) prac Habilitanta oraz h-indeks równy 11. Baza Scopus podaje, że publikacje Habilitanta są cytowane 432 (309 bez autocytowań) oraz h-indeks równy 11. Google Scholar podaje 97 pozycji publikacyjnych cytowanych 530 razy oraz h-indeks równy 12.

Habilitant był również Redaktorem Gościwym numeru specjalnego Energies - Special Issue „Optimal Control, Automation and Intelligent Energy Systems”.

Prezentował referaty na 14 konferencjach o zasięgu krajowym jak i również międzynarodowym. Brał udział w pracach komitetów organizacyjnych i naukowych 3 konferencji krajowych lub międzynarodowych. W VIII International Scientific Conference uczestniczył jako recenzent artykułów i przewodniczący sesji plenarnej. W dwóch innych konferencjach występował w roli przewodniczącego sesji plenarnych związanych z tematyką Przemysłu 4.0.

Uczestniczył jako wykonawca w pracach zespołów badawczych realizujących projekty finansowane w drodze konkursów krajowych lub zagranicznych. Realizował 5 poniższych zakończonych projektów:

- Innowacyjna technologia masowej produkcji mebli kastomizowanych HandCraft Polska Sp. z o.o., NCBiR.
- Opracowanie innowacyjnej, szybkiej, przemysłowej drukarki 3D opartej o autorską technologię druku FPD (Fast Plastic Deposit), NCBiR.
- Potencjał rozwoju i wdrażania w Polsce technologii kolei próżniowej w kontekście społecznym, technicznym, ekonomicznym i prawnym Hyperloop, GOSPOSTRATEG, Ministerstwo Rozwoju.
- Projekt badawczy „Samowzbudny Akustyczny System SAS do monitorowania poziomu bezpieczeństwa w wyrobiskach kopalnianych” projekt finansowany ze środków NCBiR w ramach konkursu TANGO 2, identyfikator nr 340166.
- Opakowanie drewniane „Paleta 4.0” dedykowane dla środowiska Industry 4.0, PARP.

Dr inż. Krzysztof Lalik uczestniczył jako członek konsorcjum Cherenkov Telescope Array (CTA) w międzynarodowym projekcie budowy naziemnych obserwatoriów astronomicznych, przeznaczonych do badań wysokoenergetycznego promieniowania gamma za pomocą techniki obrazowania atmosferycznych błysków promieniowania Czerenkowa. Jego rola w projekcie to specjalista ds. sterowania serwonapędami i integracji interfejsów komunikacyjnych.

Habilitant odbył dwa staże powyżej jednego miesiąca w instytucjach naukowych:

- Staż w IFJ PAN w Krakowie w ramach projektu CTA (Macierzy teleskopów Cherenkova), Miejsce Kraków i Zurich, Termin: styczeń-wrzesień 2016.
- Staż w Centrum Rozwoju i Kompetencji Przemysłu 4.0, Wydział Mechaniczny Politechnika Krakowska, Miejsce: Kraków, Termin: sierpień-wrzesień 2024.

We wniosku również wskazano zrecenzowanie 20 artykułów w czasopismach indeksowanych w bazie JCR w następujących czasopismach: Journal of Low Frequency Noise, Vibration & Active Control (2), Neural Computing and Applications (2), Measurement (2), Engineering Applications of Artificial Intelligence (1), Scientific Reports (1), Actuators (1), Processes (1), Energies (4), Machines (1), Micromachines (1), Applied Sciences (4).

4.2. WSPÓŁPRACA Z OTOCZENIEM SPOŁECZNO-GOSPODARCZYM I UDZIAŁ W PRACACH REALIZOWANYCH NA ZLECENIE PODMIOTÓW ZEWNĘTRZNYCH

Dr inż. Krzysztof Lalik intensywnie współpracuje z otoczeniem społeczno-gospodarczym. Przy Jego współpracy z firmami powstało minimum 15 rozwiązań technicznych. Są to takie rozwiązania techniczne jak:

- Urządzenie do skanowania powierzchni wewnętrznej budynków.
- Układ do naolejania i odolejania silnika parowego układu instalacji parowej.
- Sposób i system sterowania pracą wózka widłowego, we współpracy z: Romax Prim sp. z o.o.
- Sposób laminowania elastomeru warstwą politetrafluoroetyleny, współpraca z: Gumat Sp. z o.o.
- Sposób produkcji pieczywa bezglutenowego, we współpracy z: FPHU Polański Bogusław.
- Sposób wykonania wielowarstwowej folii do żywności, we współpracy z: Multipack sp. z o.o.
- Urządzenie i metoda kontroli uszczelnień elastometrycznych, we współpracy z: OptiSort sp. z o.o.
- Sposób i elektroniczny system akwizycji danych opakowania transportowego, zwłaszcza palety transportowej, we współpracy z: Palko sp. z o.o.

- Układ monitorowania zmian wartości i kierunku naprężeń w stropie wyrobiska kopalnianego lub tunelu, we współpracy z: Kopalnia Soli Wieliczka sp. z o.o.
- Urządzenie do monitorowania zmian naprężeń, współpraca z: Kopalnia Soli Wieliczka sp. z o.o.
- Automat do segregacji butelek i nakrętek z tworzyw sztucznych, sposób segregacji butelek i nakrętek z tworzyw sztucznych, we współpracy z: Premedia Spółka Akcyjna
- Neuronowy sterownik sterowania centralą HVAC, współpraca z: Frapol sp. z o.o.
- System zabudowany do zapobiegania oblodzenia rekuperatorów, współpraca z: Frapol sp. z o.o.
- System analizy wtrąceń w odlewach aluminiowych, we współpracy z: Nematik Europe GmbH.
- Neuronowy predyktor zużycia narzędzia skrawającego na podstawie emisji akustycznej, we współpracy z: Nematik Europe GmbH.

W latach 2017-2018 dr inż. Krzysztof Lalik pełnił funkcję Wydziałowego Brokera Innowacji na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Robotyki AGH. Współpracował z brokerami Centrum Transferu Technologii AGH oraz spółką celową Krakowskim Centrum Innowacyjnych Technologii INNOAGH Sp. z o.o.

W ramach współpracy z takimi firmami jak: teamtechnik Polska, Siemens Polska, Fanuc Polska, Valeo Polska, Bosch-Rexroth Polska, Adient Polska utworzył w 2017 roku pierwsze w Polsce Laboratorium Industry 4.0.

Współpraca z firmami: Romax Prim Sp. z o.o., OptiSort Sp. z o.o., Gumat Sp. z o.o., Multipak Sp. z o.o., Ignacy Polański Sp. z o.o., Palko Sp. z o.o., Premedia Spółka Akcyjna zaowocowała współpracą badawczą i uzyskaniem szeregu patentów na rozwiązania technologiczne, które w większości są wdrażane w tych firmach.

W ramach pracy akademickiej oraz współpracy z firmami: Romax Prim Sp. z o.o., OptiSort Sp. z o.o., Gumat Sp. z o.o., Multipak Sp. z o.o., Ignacy Polański Sp. z o.o., Palko Sp. z o.o., Premedia Spółka Akcyjna w zakresie opracowania nowych technologii i prac badawczo-rozwojowych uzyskano wspólnie 11 patentów.

Poza technologiami wdrażanymi przez partnerów przemysłowych, wdrażał także samodzielnie projekt pt. „Mobilny autonomiczny układ skanowania przestrzennego” w ramach Inkubatora Innowacyjności 4.0.

Na zamówienie instytucji publicznych lub przedsiębiorców wykonał 1 ekspertyzę, opracował ankiety i koncepcję oraz przeprowadził 4 audyty. Lista tych opracowań wykonanych na zlecenie:

- Wykonanie ekspertyzy sądowej dla układu sterowania i urządzeń automatyki przemysłowej w postępowaniu dla firmy Włastal Kwiatkowski S.C.
- Opracowanie ankiety i opisu koncepcji ewaluacji dla „Zaawansowania Industry 4.0 w polskich przedsiębiorstwach” dla firmy Luquam Sp. z o.o. Sp.k.
- Przeprowadzenie 4 audytów w zakresie Digitalizacji Polskich Przedsiębiorstw dla firmy Multiprojekt Sp. z o.o.

W mojej ocenie, przedstawiony powyżej dorobek publikacyjny i aplikacyjny Habilitanta świadczy o Jego istotnej aktywności naukowej.

4.3. DZIAŁALNOŚĆ DYDAKTYCZNA, ORGANIZACYJNA ORAZ POPULARYZUJĄCA NAUKĘ

4.3.1. Działalność dydaktyczna

Dr inż. Krzysztof Lalik działalność dydaktyczną prowadzi od roku 2009 i jest doświadczonym dydaktykiem. Prowadził zajęcia (wykłady, ćwiczenia, zajęcia laboratoryjne i projektowe, również w języku angielskim) z przedmiotów specjalistycznych związanych z dyscypliną naukową *automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne* z takich jak: Zaawansowane Systemy Sterowania, Przemysłowe Systemy Sterowania, Przemysłowe Układy Sterowania Strukturami Inteligentnymi, Systemy Sterowania w Energetyce, Automatyka w Energetyce, Systemy sterowania przemysłowego i automatyki budynkowej, Control Systems in Bioengineering.

Prowadził również zajęcia na studiach podyplomowych: Przemysłowe Systemy Sterowania, Transport i eksploatacja instalacji lądowych LNG, Mechatronika w edukacji. Były to autorskie przedmioty takie jak: Podstawy programowania PLC, Zaawansowane programowanie sterowników przemysłowych PLC, Serwonapędy i sterowanie ruchem, Systemy sterowania nadrzędnego (SCADA), Podstawy programowania układów sterowania, Automatyka Przemysłowa.

Habilitant był członkiem komisji dyplomowych przeprowadzających egzaminy dyplomowe na studiach inżynierskich i magisterskich.

Dr inż. Krzysztof Lalik był promotorem 87 prac magisterskich i 79 inżynierskich. Te liczby promowanych prac są imponujące. Promotor pomocniczy 6 prac doktorskich, z których 1 została obroniona.

Dr inż. Krzysztof Lalik w 2023 roku przeprowadził również cykl szkoleń pt. „Zastosowanie AI w przemyśle 4.0” w ramach AGH AI Days. Był to dwudniowy cykl prelekcji, szkoleń i workshopów dla studentów i doktorantów z zagadnień sztucznej inteligencji oraz wykorzystania zaawansowanych rozwiązań w przemyśle.

4.3.2. Działalność organizacyjna

W zakresie działalności organizacyjnej dr. inż. Krzysztofa Lalika można wskazać członkostwo w Radzie Naukowej Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna, Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie.

W latach 2012-2018 był członkiem Wydziałowych Komisji Rekrutacyjnych na studia pierwszego i drugiego stopnia.

Do Habilitanta należało też przygotowanie merytoryczne wniosków aparaturowych; specyfikacji przedmiotu zamówienia dla aparatury badawczej oraz był członkiem komisji przetargowych w Katedrze Automatyzacji Procesów, AGH.

W głównej mierze Habilitantowi zawdzięcza się utworzenie pierwszego w Polsce Laboratorium Industry 4.0 we współpracy z firmami jak: teamtechnik, Siemens Polska, Fanuc Polska, Valeo, Bosch-Rexroth Polska, Adient Polska. Jego zadaniem było nawiązanie kontaktu z partnerami i koordynacja działań tego projektu. Prowadził prace nad architekturą systemu realizowanego w tym laboratorium.

4.3.3. Działalność popularyzująca naukę

Habilitant od 2020 roku jest opiekunem Studenckiego Koła Naukowego SENSOR na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Robotyki. Członkowie tego Koła Naukowego pod opieką Habilitanta uczestniczyli w kilkunastu konferencjach międzynarodowych prezentując wyniki swoich prac badawczych i byli wielokrotnie wyróżniani. Studenci Koła Naukowego biorą aktywny udział w przygotowaniu publikacji do czasopism z Listy Ministerialnej. Zdobywają liczne nagrody i wyróżnienia, w tym Stypendia Prezesa Rady Ministrów, Studencki Nobel Banku Santander, główną nagrodę w konkursie „Poleć z nami do Dubaju” - konkursie dotyczącym Przemysłu 4.0 organizowanym przez APAGroup sp. z o.o.

Do innych najważniejszych działalności dr. inż. Krzysztofa Lalika popularyzujących naukę można zaliczyć czynny udział w następujących wydarzeniach:

- Małopolska Noc Naukowców - 2017-2022, przygotowanie i prowadzenie laboratorium i zajęć dla uczestników wydarzenia.
- Małopolska Noc Muzeów - 2023, przygotowanie i prowadzenie laboratorium i zajęć dla uczestników wydarzenia.
- XII Mielecki Festiwal Nauki i Techniki - wygłoszenie referatu podczas seminarium pt. „Rozszerzona rzeczywistość i inne nowoczesne metody wspierania produkcji”.
- Dyżury w Laboratorium Industry 4.0 podczas Dni Otwartych AGH, Wydziałowych Dni Otwartych oraz Spotkań z Uczelnią.

Za swoją działalność Habilitant był wielokrotnie (12) wyróżniony nagrodami Rektora AGH. Lista nagród:

- Nagroda Rektora AGH za indywidualne osiągnięcia naukowe, 2011, 2017, 2018, 2021,
- Nagroda Rektora AGH za zespołowe osiągnięcia naukowe, 2014,
- Nagroda Rektora AGH za indywidualne osiągnięcia organizacyjne, 2018,
- Nagroda Rektora AGH za indywidualne osiągnięcia dydaktyczne, 2019,
- Nagroda Rektora AGH za zespołowe osiągnięcia organizacyjne, 2020,
- Nagroda Rektora dla najlepiej publikującego Naukowca Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, 2021,
- Rektorska Nagroda Naukowa w Akademii Górniczo-Hutniczej, I filar, 2022, 2023,
- Nagroda Rektora AGH za wyjątkowe zaangażowanie i pracę na rzecz studenckiego ruchu naukowego, 2023.

Inne przyznane nagrody i odznaczenia:

- Srebrny medal IX Międzynarodowej Wystawy Wynalazków IWIS 2015,
- Nagroda od firmy Siemens GmbH w kategorii „Scientifical Partner”, 2019,
- Medal honorowy „Zasłużony dla Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Robotyki”, AGH, 2019,
- Medal Komisji Edukacji Narodowej za szczególne zasługi dla oświaty i wychowania, 2023.

Doświadczenie i osiągnięcia dydaktyczne dr. inż. Krzysztofa Lalika oceniam bardzo wysoko jak dla kandydata ubiegającego się o stopień doktora habilitowanego. Również wysoko oceniam Jego działalność organizacyjną.

5. PODSUMOWANIE I KONKLUZJA OCENY

1. Dorobek naukowy Habilitanta zawarty w przedstawionym cyklu dziesięciu powiązanych tematycznie publikacji oraz zrealizowane dwa oryginalne osiągnięcia projektowe, konstrukcyjnych i technologicznych są oryginalne i wartościowe. Uważam, że przedstawione **osiągnięcie naukowe** pt. „*Inteligentne systemy diagnostyczne i sterowania wspomagane sztucznymi sieciami neuronowymi*” i osiągnięcia projektowe pt. „*Analiza danych procesowych w zakresie rozwiązania zadania optymalizacji statycznej z ograniczeniami dla wskaźników technologicznych oceny procesu mielenia wapienia z wykorzystaniem różnych modeli procesu i Uczenia Głębokiego*” oraz osiągnięcie projektowe pt. „*Opracowanie zaawansowanego systemu wdrożenia i utrzymania autonomicznego przemysłowego robota serwisowego wykorzystującego innowacyjne algorytmy machine learning i rozwiązania cyfrowego bliźniaka*” wnoszą istotny wkład w rozwój dyscypliny *automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne*, w szczególności w obszarze diagnostyki i sterowania układów nieliniowych, wykorzystując sztuczne sieci neuronowe.
2. Analiza dorobku naukowego, nie wliczonego do głównego „osiągnięcia naukowego”, wskazuje na **istotną aktywność naukową** Habilitanta. Dorobek dr. inż. Krzysztofa Lalika wzbogacają: monografie współautorskie (2), rozdziały w monografiach naukowych (4), pozostałe artykuły w czasopismach naukowych i materiałach konferencyjnych (47), osiągnięcia projektowe, konstrukcyjne technologiczne (2), uczestnictwo w pracach zespołów badawczych realizujących projekty finansowane w drodze konkursów krajowych lub zagranicznych (5), patenty (11), odbyte staże w jednostkach naukowych (2) oraz intensywna współpraca z firmami i instytucjami z otoczenia społeczno-gospodarczego.

Na podstawie przeprowadzonej dogłębnej analizy **osiągnięcia naukowego** oraz **aktywności naukowej** dr. inż. Krzysztofa Lalika moja ocena jest **jednoznacznie pozytywna**. Stwierdzam, że przedstawiona całość dorobku Habilitanta spełnia wymogi art. 219 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2023. Poz. 742 z późn. zm.).

Moja **pozytywna ocena** upoważnia mnie do **poparcia wniosku w sprawie nadania dr. inż. Krzysztofowi Lalikowi stopnia naukowego doktora habilitowanego** w dyscyplinie *automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne*.

dr hab. inż. Maciej Sułowicz, prof. PK