

Warszawa, 19.05.2025

Prof. dr hab. inż. Grzegorz Iwański
Politechnika Warszawska, Wydział Elektryczny
Instytut Sterowania i Elektroniki Przemysłowej
ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa

Recenzja osiągnięć naukowych i działalności dydaktycznej i organizacyjnej

dr. inż. Macieja Skowrona

w związku z wnioskiem o wszczęcie postępowania ws. nadania stopnia doktora
habilitowanego

przygotowana na podstawie zlecenia Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej
Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Wrocławskiej

Niniejsza recenzja została opracowana na podstawie złożonego przez Kandydata wniosku o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie Automatyka Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne zawierającego w szczególności:

- Kopię dyplomu doktora nauk technicznych
- Autoreferat zawierający m.in.: podstawowe informacje o przebiegu kariery Kandydata, wskazanie osiągnięcia naukowego wraz z wykazem prac wchodzącym w jego skład z omówieniem celu naukowego wskazanych prac, wskazanie aktywności naukowej oraz osiągnięć dydaktycznych i organizacyjnych.
- Wykaz opublikowanych prac naukowych oraz informacja o aktywności naukowej (w tym udziału w projektach badawczych), dydaktycznej i organizacyjnej.
- Kopie publikacji wskazanych jako jednotematyczny cykl publikacji autorstwa lub współautorstwa habilitanta stanowiących podstawę wniosku
- Oświadczenia współautorów publikacji

Wniosek habilitacyjny spełnia kryteria formalne. Kandydat posiada stopień doktora w dziedzinie nadany 25.10.2021 w dyscyplinie automatyka, elektronika i elektrotechnika, przedstawił do oceny osiągnięcia naukowe w postaci cyklu publikacji, posiada inne osiągnięcia naukowe, realizował prace badawcze w więcej niż jednej jednostce naukowej oraz posiada osiągnięcia dydaktyczne, organizacyjne, popularyzatorskie i w zakresie opieki nad kadrą naukową.

Ocena wskazanego przez Habilitanta osiągnięcia naukowego

Ocenie podlega osiągnięcie naukowe, którym jest cykl dziewięciu publikacji powiązanych tematycznie pod wspólnym tytułem:

„Diagnostyka uszkodzeń układów napędowych z silnikami prądu przemiennego z zastosowaniem głębokich sieci neuronowych uczonych transferowo i technik modelowania matematycznego”

W skład cyklu stanowiącego osiągnięcie naukowe będące podstawą wniosku wchodzi prace opublikowane w dziewięciu czasopismach posiadających współczynnik wpływu, przy czym dwie prace są monoautorskie, a siedem współautorskich.

1. Maciej Skowron (100%), Transfer learning-based fault detection system of permanent magnet synchronous motors, IEEE Access, vol. 12, 2024
2. Maciej Skowron (100%), Analysis of PMSM short-circuit detection systems using transfer learning of deep convolutional networks, Power Electronics and Drives, vol. 9 (44), 2024.
3. Krystian Teler (40%), Maciej Skowron (40%), Teresa Orłowska-Kowalska (20%), Implementation of MLP-based classifier of current sensor faults in vector-controlled induction motor drive, IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 20, nr 4, 2024
4. Krystian Teler (40%), Maciej Skowron (40%), Teresa Orłowska-Kowalska (20%), Verification of the MLP network-based current sensor fault classifier for vector-controlled AC motor drives, Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Technical Sciences, vol. 72, nr 6, s. 1-9, 2024
5. Maciej Skowron (70%), Teresa Orłowska-Kowalska (20%), Czesław T. Kowalski (10%), Diagnosis of stator winding and permanent magnet faults of PMSM drive using shallow neural networks, Electronics, vol. 12, nr 5, art. 1068, s. 1-15, 2023
6. Maciej Skowron (60%), Teresa Orłowska-Kowalska (20%), Czesław T. Kowalski (20%), Detection of permanent magnet damage of PMSM drive based on direct analysis of the stator phase currents using convolutional neural network, IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 69, nr 12, s. 13665-13675, 2022
7. Maciej Skowron (50%), Mateusz S. Krzysztofiak (30%), Teresa Orłowska-Kowalska (20%), Effectiveness of neural fault detectors of permanent magnet synchronous motor trained with symptoms from field-circuit modeling, IEEE Access, 2022, vol. 10, s. 104598-104611,
8. Maciej Skowron (60%), Czesław T. Kowalski (20%), Teresa Orłowska-Kowalska (20%), Impact of the convolutional neural network structure and training parameters on the effectiveness of the diagnostic systems of modern AC motor drives, Energies, vol. 15, nr 19, art. 7008, s. 1-22, 2022,
9. Maciej Skowron (40%), Krystian Teler (20%), Michał P. Adamczyk (20%), Teresa Orłowska-Kowalska (20%), Classification of single current sensor failures in fault-tolerant induction motor drive using neural network, Energies, vol. 15, nr 18, art. 6646, s. 1-18, 2022.

Cykl publikacji posiada wysoki sumaryczny współczynnik wpływu ($IF=38$) i skoncentrowany jest tematycznie wokół metod oceny stanu układów napędowych oraz metod detekcji i diagnostyki uszkodzeń w takich układach w oparciu o sieci neuronowe i podzielony jest na dwa obszary:

1. Opracowanie uniwersalnych metod oceny stanu układów napędowych z użyciem głębokiej sieci neuronowej i technik uczenia transferowego

2. Zastosowane technik sztucznej inteligencji i modelowania matematycznego w detekcji uszkodzeń czujników prądu w zamkniętych układach sterowania oraz diagnostyce uszkodzeń silnika PMSM

przy czym prace dotyczące punktu pierwszego są częściowo kontynuacją prac badawczych realizowanych w ramach pracy doktorskiej.

Osiągnięcia naukowe w zakresie metod oceny stanu układów napędowych zostały przedstawione w publikacjach [I],[II],[IV] oraz były prezentowane w referatach konferencji naukowych i były wynikiem realizacji grantu NCN pod kierownictwem Kandydata. Celem tych prac było opracowanie uniwersalnych metod diagnostycznych w oparciu o sieci głębokie dla silników prądu przemiennego cechujących się precyzją detekcji uszkodzeń oraz uproszczeniem procesu implementacji sieci. Uniwersalizacja metod dotyczy przede wszystkim przeniesienia cech świadczących o defektach pomiędzy maszynami o różnych konstrukcjach (silnik indukcyjny klatkowy oraz silnik synchroniczny z magnesami trwałymi). W odniesieniu do tych metod badania prowadzone były etapowo, w pierwszej kolejności jako kontynuacja prac z rozprawy w zakresie opracowania systemu detekcji uszkodzeń magnesów silnika PMSM w oparciu o mierzone sygnały wielkości elektrycznych z użyciem konwolucyjnej sieci neuronowej. Opracowana metoda cechuje się skutecznością detekcji uszkodzeń magnesów trwałych PMSM, wysoką precyzją w stanie ustalonym oraz w stanach przejściowych. Dodatkowo, zaproponowana została metoda detekcji zwarć międzyzwojowych stojana wpływających na podwyższenie temperatury i pogarszających warunki pracy magnesów, co również powoduje ich degradację. Struktura detekcji zwarć również opiera się na sieci konwolucyjnej. Zaprezentowane w pracy wyniki wykazują dużą skuteczność detekcji oraz krótki czas reakcji.

Dalsze prace w tym obszarze zostały rozszerzone o możliwości detekcji innych typów uszkodzeń w układach napędowych bez zmiany struktury metody, bez zmiany współczynników wagowych oraz bez zmiany parametrów sieci przy rozwiązywaniu innych problemów diagnostycznych. Opracowana metoda wykorzystywała tzw. uczenie transferowe, gdzie wykorzystując informacje o cechach jednego obiektu dokonuje się jej transferu do systemu diagnostycznego zaprojektowanego do innego obiektu (tu w kontekście informacji o cechach silnika indukcyjnego transferowanych do metody diagnostyki opracowanej dla silnika PMSM), lub transferu cech modelu matematycznego do metody diagnostyki zastosowanej w obiekcie rzeczywistym (tu w kontekście informacji o cechach uzyskanych z modelu polowo-obwodowego silnika PMSM transferowanych do metody diagnostyki zastosowanej w rzeczywistym układzie napędowym). Zasadniczym celem tych prac było znaczne skrócenie czasu treningu sieci dla nowego zadania przy zachowaniu precyzji i czasu reakcji metody diagnostycznej. Wyniki były prezentowane w dwóch publikacjach czasopism o otwartym dostępie z listy JCR. Opracowane metody diagnostyczne wykorzystujące uczenie transferowe z innego obiektu lub modelu matematycznego posiada co prawda pewne ograniczenia, ale wykazuje się wysoką skutecznością i precyzją, przy jednoczesnym 30-krotnym skróceniu czasu treningu sieci. W ramach prac nad sieciami z uczeniem transferowych przeanalizowano również różne sposoby transferu informacji oraz porównano skuteczność tych metod. Zaprezentowane metody cechują się oryginalnością a osiągnięte wyniki i możliwość implementacji metod w trybie on-line mogą być wdrażane do praktyki przemysłowej.

Inną częścią prac badawczych było wykorzystanie technik sztucznej inteligencji w diagnostyce silników PMSM i układów sterowania zamkniętego typu „fault tolerant control”. Wyniki obejmujące ten zakres prac przedstawione zostały w trzech publikacjach, w tym w topowym światowym czasopiśmie *IEEE Trans. Ind. Informatics*. Badania obejmują klasyfikację uszkodzeń czujników prądu obejmujących kilka efektów uszkodzeń, lokalizację fazy, oraz uwzględnienie tych uszkodzeń w sterowaniu typu post fault. Wykorzystana struktura MLP wykorzystuje zestaw próbek mierzonych oraz estymowanych prądów fazowych w dwóch fazach. Sterowanie post fault jest o tyle interesujące, że klasycznie wykorzystuje się trzy czujniki i identyfikuje się uszkodzenie jednego z nich i eliminuje taki pomiar ze sterowania, a sterowanie opiera się na wskazaniu dwóch pozostałych. Tutaj sterowanie post fault opiera się na jednym czujniku i estymatorze prądu w pozostałych fazach.

W ramach prac dokonano doboru najkorzystniejszej struktury MLP w oparciu o analizę krzywych uczenia oraz została przeanalizowana precyzja na podstawie odpowiedzi na zbiór danych uczenia oraz danych testowych. Uzyskano skuteczność klasyfikacji defektów czujników prądu na poziomie 98,9%. Wykonano badania symulacyjne układu napędowego z silnikiem indukcyjnym klatkowym dla zmiennych warunków pracy (zmiana prędkości oraz momentu obciążenia) uwzględniając opisane uszkodzenia czujników prądu. Implementacja sprzętowa metody oraz wyniki laboratoryjne zostały opublikowane w innej pracy [III], gdzie przedstawiono problemy z fizyczną implementacją algorytmu oraz sposób optymalizacji implementacji polegającej na doborze odpowiedniej liczby neuronów w warstwach sieci z uwagi na dostępne zdolności obliczeniowe użytego systemu cyfrowego. Uzyskano bardzo dobry kompromis między precyzją a złożonością obliczeniową. Po uprzednich badaniach wykorzystujących symulacje oraz technikę uczenia transferowego przeprowadzona została weryfikacja eksperymentalna na stanowisku z silnikiem indukcyjnym o mocy 1,1kW w warunkach emulowanych uszkodzeń czujników prądów fazowych w stanach ustalonych i stanach przejściowych pracy napędu potwierdzając jednoznacznie poprawność zastosowanej techniki detekcji, kompensacji i klasyfikacji uszkodzeń czujników prądu. Osiągnięta precyzja klasyfikacji uszkodzeń na poziomie 97,8% oraz 96,6% dla poszczególnych czujników prądów fazowych jest satysfakcjonująca.

Dalsze prace dotyczyły weryfikacji i analizie skuteczności opracowanej techniki w napędach z silnikami indukcyjnym i PMSM. Zastosowanie opracowanej struktury MLP w diagnostyce uszkodzeń czujników prądu układów napędowych z IM oraz PMSM opisane zostało w [IV]. Struktura sieci wzięta z [III] dla silnika indukcyjnego, została wykorzystana dla napędu z silnikiem PMSM bez dodatkowego uczenia. Było to zastosowanie wcześniejszej koncepcji uczenia transferowego między obiektami. Skuteczność metody została zweryfikowana w symulacyjnie w narzędziu Matlab/Simulink. Analizowano działanie metody w układzie napędowym z silnikiem PMSM i sterowaniem wektorowym FOC. Osiągnięto skuteczność oceny rodzaju defektu czujnika na poziomie 99,6% dla silnika indukcyjnego i 99,8% dla PMSM pracujących w zmiennych warunkach. Badania przeprowadzone zostały dla bardzo licznej reprezentacji przypadków. Kandydat wykazał w publikacji, że opracowana metoda klasyfikacji defektów czujników prądu w układach napędowych z silnikami indukcyjnym i PMSM charakteryzuje się wysoką precyzją i krótkim czasem reakcji bez konieczności dodatkowego treningu.

Dalsza część prac badawczych wchodzących w zakres osiągnięcia II odnosiła się do wykorzystania modelowania polowo-obwodowego oraz technik co-symulacji wraz z algorytmami sztucznej inteligencji w celu opracowania systemów diagnostyki uszkodzeń samego silnika PMSM. W ramach badań wstępnych przeprowadzono analizę klasycznych struktur neuronowych stosowanych diagnostyce uszkodzeń stojana oraz magnesów silnika PMSM oraz porównanie z technikami opartymi na głębokich sieciach konwolucyjnych oraz uczeniu transferowym. Wyniki przedstawione zostały w publikacji [V]. Wykazana została wysoka precyzję detekcji uszkodzeń stojana i magnesów, przy czym sam sposób pozyskiwania danych wymagał fizykalnego modelowania wspomnianych uszkodzeń za pomocą modelowania struktury silnika z uszkodzeniami w oprogramowaniu ANSYS (symulacja w symulacji). Kandydat wskazuje na pewne problemy w takim podejściu, natomiast moim zdaniem niewspomnianym problemem jest długi czas przygotowania modelu silnika budowanego w ten sposób z uwzględnieniem defektu i każdorazowe zmiany aby przygotować model do symulacji. Stąd podejście z publikacji [VII] w której dane diagnostyczne pochodzą z symulacji modelu polowo-obwodowego, który znacznie łatwiej jest modyfikować z uwzględnieniem wspomnianych defektów było słuszne.

Dane uczące otrzymane w wyniku symulacji modelu układu napędowego ze sterowaniem zamkniętym opracowywanego równolegle w trzech współpracujących środowiskach były wykorzystane do treningu sieci, a następnie przeprowadzono weryfikację eksperymentalną z wykorzystaniem napędu przemysłowego. Na podstawie analizy odpowiedzi sieci na dane osiągnięte z rzeczywistego układu napędowego określona została precyzja działania metody na poziomie 96,9% dla detekcji i 88,6% dla klasyfikacji defektów z nielicznymi błędnymi wskazaniami rozpoznania defektu. Biorąc pod uwagę, że dane treningowe były osiągane z modelu symulacyjnego, a sama detekcja i klasyfikacja już w oparciu o sygnały mierzone w układzie rzeczywistym, gdzie rzeczą naturalną jest pewna rozbieżność między modelami prezentowana precyzja metody jest wysoka. Wyniki prac badawczych potwierdzają, możliwość zastosowania technik sztucznej inteligencji trenowanych z użyciem modeli polowo-obwodowych do detekcji i klasyfikacji uszkodzeń maszyn typu PMSM.

Jakość i zawartość merytoryczna publikacji jest bardzo dobra. Dwie prace są opublikowane w topowych światowych czasopismach w obszarze, w którym kandydat realizuje prace naukowe. Kandydat jest autorem istotnej części merytorycznej każdej z prac, a w jednej jest jedynym autorem.

Autoreferat jest starannie i merytorycznie przygotowany zarówno w obszarze osiągnięcia habilitacyjnego jak i innych osiągnięć.

Na podstawie omówionych dokonań naukowych habilitanta związanych z powiązanym tematycznie cyklem publikacji, można uznać wkład Kandydata w rozwój i zastosowanie metod sztucznej inteligencji w diagnostyce uszkodzeń komponentów regulowanych układów napędowych za istotny. Osiągnięcia te w całości powiązane są z dyscypliną naukową AEEITK i spełniają wymagania stawiane przez obowiązujące przepisy.

Ocena aktywności naukowej

Jednym z dwóch podstawowych wymagań postawionych przed Kandydatami do stopnia doktora habilitowanego w aktualnej wersji ustawy Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce jest wykazywanie się „istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej (...)”. Istotne w tym wymaganiu jest prowadzenie badań w więcej niż jednej instytucji, co może być realizowane w formie zatrudnienia ale również stażu czy stypendium.

Kandydat brał udział w trzymiesięcznym stażu na Politechnice Krakowskiej. W ramach stażu badawczego realizował prace badawcze nad zastosowaniem technik uczenia głębokiego w diagnostyce układów wielomaszynowych. Wygłosił referat w ramach seminarium naukowego. Przygotowany został również artykuł naukowy w procesie recenzji.

Kandydat brał również udział w dwumiesięcznym stażu na Uniwersytecie Lorraine i prowadził badania w zakresie detekcji uszkodzeń czujników prądu i sposobów kompensacji tych uszkodzeń za pomocą sieci neuronowych w układach sterowania silnikiem synchronicznym z uzwojonym wirnikiem, w wyniku którego opublikował artykuł konferencyjny. Kandydat kontynuuje współpracę ze wspomnianym uniwersytetem.

Kandydat, mimo że odbyte staże są stosunkowo krótkie, spełnia wymagania wykazywania się istotną aktywnością naukową w więcej niż jednej jednostce naukowej.

Ocena innych osiągnięć

Kandydat jest bardzo aktywny w obszarze kształcenia i opieki nad kadrą naukową (jako promotor pomocniczy sześciu rozpraw doktorskich). Był również promotorem dziewięciu prac dyplomowych. Kandydat wykazuje się dużą aktywnością organizacyjną w ramach jednostki i ponadprzeciętną aktywnością łączącą osiągnięcia dydaktyczne i popularyzację nauki. Zwłaszcza na uwagę zasługuje udział jako juror w Mistrzostwach Polski Programistów PLC – rozpoznawalnego w środowisku akademickim ogólnopolskiego konkursu dla uczniów i studentów. Kandydat brał udział w szkoleniach zawodowych. Szereg przedstawionych certyfikatów i szkoleń dotyczy podniesienia kompetencji zawodowych przydatnych do realizacji procesu dydaktycznego.

Kandydat otrzymał m.in. szereg nagród Rektora Politechniki Wrocławskiej oraz stypendium Rektora PWr. Artykuły autorstwa Kandydata były nagradzane na rozpoznawalnych konferencjach. Kandydat był umieszczony na liście TOP2% Scientists tworzonej przez Uniwersytet Stanforda i Scopus m.in. na podstawie liczby cytowań prac co stanowi o rozpoznawalności habilitanta w środowisku naukowym.

Wskaźniki bibliometryczne osiągnięte przez Kandydata takie jak liczba cytowań obcych (>300) oraz sumaryczny IF czasopism, w których były publikowane wszystkie prace Kandydata (>65) są wysokie.

Biorąc pod uwagę powyższe oceniam, że Kandydat posiada istotne osiągnięcia w obszarze organizacyjnym, dydaktycznym i popularyzacji nauki oraz wysokie wskaźniki bibliometryczne swoich prac.

Wniosek końcowy

Podsumowując stwierdzam, że efekty dotychczasowej pracy naukowo-badawczej Habilitanta stanowią istotny wkład w rozwój dyscypliny naukowej Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne, w szczególności w rozwój metod detekcji i identyfikacji uszkodzeń w układach napędowych z wykorzystaniem sieci neuronowych.

Biorąc pod uwagę zarówno opinię o cyklu powiązanych tematycznie publikacji pod wspólną nazwą *„Diagnostyka uszkodzeń układów napędowych z silnikami prądu przemiennego z zastosowaniem głębokich sieci neuronowych uczonych transferowo i technik modelowania matematycznego”*, jak i ocenę aktywności naukowej i innych osiągnięć dr. inż. Macieja Skowrona stwierdzam, że spełnia on wymagania określone w obowiązującej ustawie „Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce”.

Stawiam wniosek o nadanie doktorowi Maciejowi Skowronowi stopnia naukowego doktora habilitowanego w dyscyplinie Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne.