

Prof. dr hab. inż. Marcin Morawiec

Gdańsk, 22.04.2025

Politechnika Gdańska

Wydział Elektrotechniki i Automatyki

Katedra Automatyki Napędu i Konwersji Energii

ul. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk

RECENZJA

osiągnięcia naukowego będącego podstawą ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego pt.

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

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

1. INFORMACJE OGÓLNE

Recenzja została przygotowana na zlecenie Rady Dyscypliny Naukowej Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Wrocławskiej, w związku z powołaniem mnie na recenzenta przez komisję habilitacyjną w dniu 24 lutego 2025 r. (Uchwała nr 139/6/RDND02/2024-2028) w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynierijsko-technicznych w dyscyplinie automatyka, elektronika i elektrotechnika i technologie kosmiczne dr inż. Maciejowi Skowronowi.

Podstawą opracowania recenzji jest dokumentacja postępowania habilitacyjnego przekazana przez Radę Dyscypliny Naukowej Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Wrocławskiej. Zawiera ona następujące elementy:

- Wniosek z dnia 20.11.2024 o przeprowadzenie postępowania.
- Kopię dyplomu doktora nauk technicznych.
- Autoreferat zawierający: podstawowe informacje o kandydacie, omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.), Wykaz prac naukowych wchodzących w skład osiągnięcia naukowego, omówienie celu naukowego, omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych, informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej, w szczególności zagranicznej, informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę, opis innych informacji, które zdaniem Kandydata są istotne i dotyczą Jego kariery zawodowej.
- Wykaz osiągnięć naukowych albo artystycznych, stanowiących znaczny wkład w rozwój określonej dyscypliny.
- Publikacje naukowe w ramach cyklu:

1. Maciej Skowron, Transfer learning-based fault detection system of permanent magnet synchronous motors, IEEE Access, vol. 12, pp. 135372-135389, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.346397.
2. Maciej Skowron, Analysis of PMSM short-circuit detection systems using transfer learning of deep convolutional networks, Power Electronics and Drives 2024, vol. 9 (44), s. 21-33, <https://doi.org/10.2478/pead-2024-0002>.
3. Krystian Teler, Maciej Skowron, Teresa Orłowska-Kowalska, Implementation of MLP-based classifier of current sensor faults in vector-controlled induction motor drive, IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 20, nr 4, s. 5702-5713, <https://doi.org/10.1109/TII.2023.3336348>.
4. Krystian Teler, Maciej Skowron, Teresa Orłowska-Kowalska, 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, 2024, s. 1-9, DOI:10.24425/bpasts.2024.150336.
5. Maciej Skowron, Teresa Orłowska-Kowalska, Czesław T. Kowalski, 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, 10.3390/electronics12051068.
6. Maciej Skowron, Teresa Orłowska-Kowalska, Czesław T. Kowalski, 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.
7. Maciej Skowron, Mateusz S. Krzysztoniak, Teresa Orłowska-Kowalska, 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, 10.1109/ACCESS.2022.3211087.
8. Maciej Skowron, Czesław T. Kowalski, Teresa Orłowska-Kowalska, Impact of the convolutional neural network structure and training parameters on the effectiveness of the diagnostic systems of modern AC motor drives, Energies, 2022, vol. 15, nr 19, art. 7008, s. 1-22, 10.3390/en15197008.
9. Maciej Skowron, Krystian Teler, Michał P. Adamczyk, Teresa Orłowska-Kowalska, Classification of single current sensor failures in fault-tolerant induction motor drive using neural network, Energies, 2022, vol. 15, nr 18, art. 6646, s. 1-18, DOI:10.3390/en15186646.

2. SKRÓCONY PRZEBIEG KARIERY NAUKOWEJ

Pan Maciej Skowron otrzymał dyplom ukończenia studiów inżynierskich w roku 2017, a studiów magisterskich w roku 2018 na Wydziale Elektrycznym Politechniki Wrocławskiej, kierunku Automatyka i Robotyka. Od października 2018 do października 2021 r. był zatrudniony w projekcie badawczym realizowanym na Politechnice Wrocławskiej. Od października 2021 do grudnia 2021 został zatrudniony na stanowisku asystenta, a od grudnia 2021 do chwili obecnej jest adiunktem zatrudnionym na Wydziale Elektrycznym Politechniki Wrocławskiej.

3. OCENA OSIĄGNIĘĆ NAUKOWYCH

Dr inż. Maciej Skowron przedstawił do oceny dwa osiągnięcia naukowe:

- I. Opracowanie uniwersalnych metod detekcji i oceny stanu technicznego napędów z silnikami prądu przemiennego (IM oraz PMSM) przy wykorzystaniu technik uczenia transferowego głębokiej sieci

neuronowej, zapewniających wysoką skuteczność podczas pracy w stanach ustalonych oraz przejściowych;

II. Zastosowanie technik sztucznej inteligencji oraz modelowania matematycznego w diagnostyce układów napędowych z silnikami prądu przemiennego (Opracowanie metod detekcji i klasyfikacji uszkodzeń czujników prądu w zamkniętych strukturach sterowania silnikami prądu przemiennego wykorzystujących sieci neuronowe uczone w części na wzorcach pozyskanych z modeli symulacyjnych, Wykorzystanie modeli polowo-obwodowych oraz klasycznych struktur neuronowych w diagnostyce uszkodzeń silnika PMSM).

Jako podstawę do wszczęcia czynności w postępowaniu habilitacyjnym zgłoszono cykl powiązanych tematycznie 9 publikacji zatytułowany „Diagnostyka uszkodzeń układów napędowych z silnikami prądu przemiennego z zastosowaniem głębokich sieci neuronowych uczonych transferowo i technik modelowania matematycznego”. Kandydat w autoreferacie uzasadnia wybór ww. osiągnięć naukowych, które związane są bezpośrednio z realizowanymi projektami badawczymi. Należy zauważyć, że kandydat zrealizował rozprawę doktorską o zbliżonej tematyce „Diagnostyka uszkodzeń silników indukcyjnych i synchronicznych z magnesami trwałymi przy wykorzystaniu sieci neuronowych z głębokim uczeniem”, której promotorem był prof. Czesław T. Kowalski. Natomiast w autoreferacie kandydat podał, że (...) „Cykl publikacji przedstawiony powyżej dotyczy prac prowadzonych po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych”, co nie jest stwierdzeniem prawdziwym, gdyż publikacje:

5. Maciej Skowron, Teresa Orłowska-Kowalska, Czesław T. Kowalski, 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, 10.3390/electronics12051068.

6. Maciej Skowron, Teresa Orłowska-Kowalska, Czesław T. Kowalski, 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.

8. Maciej Skowron, Czesław T. Kowalski, Teresa Orłowska-Kowalska, Impact of the convolutional neural network structure and training parameters on the effectiveness of the diagnostic systems of modern AC motor drives, Energies, 2022, vol. 15, nr 19, art. 7008, s. 1-22, 10.3390/en15197008.

zawierają rozwiązania i wyniki zaproponowane i przedstawione w pracy doktorskiej kandydata.

Publikacja nr 5 dotyczy diagnostyki uzwojeń stojana maszyny z magnesami trwałymi w której opisano zastosowanie płytkich sieci neuronowych SNN w tym wielowarstwowego perceptronu MLP i samoorganizującej sieci Kohonena SOM do wykrywania klasyfikacji uszkodzeń stojana i wirnika – opis symptomów uszkodzeń stojana i wirnika silnika PMSM, rysunki 1, 2, 5, 6, 7, 8 z publikacji nr 5 to rysunki z rozprawy doktorskiej 6.10, 6.12, 6.7, 6.8, tabela 2 z publikacji nr 5 to tabela 6.2 w rozprawie. W publikacji nr 5 zawarto również rozważania merytoryczne, które opisywano w rozprawie doktorskiej. Opis zagadnień teoretycznych oraz wyników z badań symulacyjnych i eksperymentalnych przedstawione w publikacji nr 5 zostały powielone z rozprawy doktorskiej.

W publikacji nr 6 przedstawiono tematykę poruszaną w rozprawie doktorskiej dotyczącą detekcji uszkodzeń magnesu w silniku PMSM, a rysunki 1 – 4, 8 – 11 to rysunki z rozprawy: 3.7, 3.8, 4.2, 4.4, 7.21, 7.22, 7.23a, b, które zawierają wyniki badań eksperymentalnych bądź przedstawiają analizowane zjawisko (symptomy). Należy zauważyć, że opis zagadnień teoretycznych w tym analiza zjawiska zostały przepisane/powielone z rozprawy do publikacji nr 6.

MD

W publikacji nr 8 przedstawiono wpływ struktury sieci konwolucyjnej CNN należącej do tzw. uczenia głębokiego, na zdolność uczenia sieci (parametry) oraz wydajność w kontekście systemu diagnostycznego. W artykule tym opisano strukturę sieci CNN, proces treningu sieci (zagadnienia poruszane w rozprawie – algorytmy SGDM, RMSprop, Adam). Rysunki 1 (schemat sieci), 5, 6 oraz Tabela 2 (Tab. 7.22 w rozprawie), 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 i 15 to odpowiednio rysunki z rozprawy nr 7.20, 7.26, 7.22, 7.27, 7.28, 7.29, 7.30, 7.31, 7.32, 7.33, 7.34, 7.35. Ponadto w artykule zamieszczono następujące tabele: 1, (Tab. 7.21 w rozprawie), 2 (Tab. 7.22 w rozprawie), 3 (Tab. 7.33 w rozprawie), 4 (Tab. 7.24 w rozprawie). Stwierdzono, że zagadnienia opisane w artykule dotyczą tematyki przedstawionej w pracy doktorskiej (artykuł rozszerzono o rysunek 2 i 3, które nie występują w rozprawie doktorskiej, gdyż kandydat rozważał trenowanie sieci za pomocą tylko spadku gradientu z pędem SGDM). Rozważania merytoryczne i rezultaty przedstawionych w rozprawie doktorskiej zostały powielone/przeписane do publikacji nr 8.

Uwzględniając powyższe informacje stwierdzono, że publikacje nr 5, 6 i 8 nie można brać pod uwagę przy ocenie dorobku naukowego kandydata, gdyż zawierają osiągnięcia przedstawione w rozprawie doktorskiej. Ocenę dorobku naukowego w dalszej części recenzji oparto na publikacjach zgłoszonych w ramach cyklu nr 1 – 4, 7 i 9.

Publikacja nr 1 dotyczy wykorzystania metody uczenia transferowego w systemie diagnostycznym silnika PMSM. Zadaniem płytkich lub głębokich sieci neuronowych jest określenie wyjścia dla danego wejścia, przy użyciu wiedzy zdobytej w trakcie procesu szkolenia. Istotny zatem jest proces treningu sieci neuronowych na odpowiednim zestawie próbek wykorzystanych do nauki sieci. Jeżeli wystąpią różnice pomiędzy danymi na podstawie, których sieć jest wytrenowana, a obiektem docelowym (zestawem danych docelowych) to pojawiają się błędy przy identyfikacji uszkodzenia. W związku z tym dokładność systemu diagnostycznego ulega znacznemu pogorszeniu. Aby zwiększyć dokładność stosuje się powszechnie znane podejście oparte na uczeniu transferowym. W zależności od przenoszanej informacji stosuje się uczenie transferowe oparte na: sieci neuronowej, na instancjach oraz na mapowaniu. Poszczególne techniki zostały opisane przez kandydata w kolejnych podsekcjach artykułu. W przypadku uczenia transferowego (TL) opartego na sieci neuronowej CNN występują dwa etapy przy jej trenowaniu (warstwa detektora cech i klasyfikatora). Rozwiązanie, które kandydat rozważa w publikacji jest oparte na rezultatach uzyskanych w [55], [56], [57], [58], [59], [60], [61], [62]: (...) „*the first training process, the weighting coefficients of the convolutional layer responsible for the automatic extraction of symptoms (feature detector) are blocked ('frozen') and are not subject to further adaptation [55], [56], [57], [58], [59], [60], [61], [62]. The second stage of the training process was performed using the measured data, and the adaptation of the weighting coefficients in the second stage involved only the layers of the classifier*”. Wykorzystanie CNN w TL eliminuje konieczność wyboru odpowiedniej struktury sieci neuronowej oraz cechuje się szybkim wzrostem precyzji już w pierwszych epokach procesu uczenia. W artykule wykorzystano również technikę TL polegającą na uczeniu sieci na instancjach – wprowadzenie próbek z zestawu docelowego do zestawu danych uczących zgodnie z koncepcją przedstawioną w [65], [66], [67], [68], [69] (odniesienia do literatury w artykule nr 1). Zastosowanie tego podejścia doprowadziło do osiągnięcia wyższej precyzji uczenia sieci w stosunku do podejścia z CNN. Precyzja zależna jest od poziomu wymieszania próbek ze zbioru źródłowego ze zbiorem docelowym (co określono poprzez współczynnik λ). Ostatnią metodą uczenia sieci, która została opisana w artykule jest metoda oparta na mapowaniu. Polega ona na wymieszaniu próbek z danych źródłowych z danymi docelowymi co przedstawiono m.in. w [70]-[71]. Sieć na podstawie danych źródłowych i docelowych dostosowuje współczynniki wagowe. Konieczna jest jednak wstępna normalizacja (dopasowanie obu źródeł danych ze względu na np. rozbieżne wartości i inne) co opisano w [70], [71], [72], [73], [74]. W artykule nr 1 przedstawiono porównanie trzech metod uczenia TL w zastosowaniu do detekcji wybranego rodzaju

uszkodzenia (analizowano odmagnesowanie magnesu trwałego w wirniku oraz zwarcie międzyzwojowe stojana w fazie B. W celu nauczania sieci z TL zastosowano zbiory danych przedstawione w Tabeli 3 (ponad 4500, 4580 i 2700 dla modelu matematycznego PMSM dla uczenia i walidacji oraz 5400 dla pomierzonego PMSM). Pojedyncza matryca wejściowa do sieci CNN zawierała 500 próbek, przy częstotliwości próbkowania 8192 Hz (co daje czas pomiaru danych 0,061 s). Dla danych pomiarowych wykorzystano analizę spektralną prądów fazowych dla których w widmie poszukiwano częstotliwości odpowiedzialnych za występowanie zamodelowanego defektu. W rezultacie otrzymano wyniki przedstawione na rysunku 13 w których wyraźnie widoczna jest przewaga uczenia TL z wykorzystaniem instancji i mapowania zamiast wytrenowanej sieci neuronowej CNN.

Należy zauważyć, że w autoreferacie kandydat podaje, że w artykule nr 1 przedstawiono (...) „...autorskie propozycje algorytmów uczenia transferowego w głębokiej sieci konwolucyjnej w zastosowaniu do diagnostyki PMSM”, jednakże nie odnosi się do istniejących metod uczenia transferowego jakie przedstawiono np. w

F. Zhuang, Z. Qi, K. Duan, D. Xi, Y. Zhu, H. Zhu, H. Xiong, Q. He: „A Comprehensive Survey on Transfer Learning”, *Proceedings of the IEEE (Volume: 109, Issue: 1, January 2021)* (o liczbie cytowania 3316)

lub

I. Misbah, C.K.M. LEE, K.L. KEUNG: *Fault diagnosis in rotating machines based on transfer learning: Literature review, Elsevier, <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2023.111158>*

W ww. publikacjach dokonano kategoryzacji sposobów uczenia sieci neuronowych TL na uczenie: Instance-Based Approach, Feature-Based Approach (symmetric transformation, asymmetric transformation), Parameter-Based Approach, Relational-Based Approach. Zaproponowane przez kandydata rozwiązanie polegające na podejściu mapowania (...) „Mapping-based TL – utworzenie wspólnej przestrzeni zmiennych poprzez zastosowanie podstawowych technik przetwarzania sygnałów zarówno dla danych z modelu jak i obiektu” nie zostało w żaden merytoryczny sposób uzasadnione w kontekście wykazania przewag lub podobieństw do rozwiązań znanych w ww. publikacjach. Pozostałe dwa podejścia bazujące na wstępnie nauczonej sieci neuronowej oraz instancjach są znane z literatury. Należy zatem podkreślić, że rozwiązanie polegające na mapowaniu, które kandydat zaproponował w artykule nr 1 nie stanowi nowego podejścia i jest zbliżone do uczenia na podstawie instancji – wykorzystuje zbiory danych źródłowych i docelowych. Nie jest również jasne, co oznacza „zastosowanie podstawowych technik przetwarzania sygnałów” – sformułowanie to nie zostało wyjaśnione w autoreferacie oraz w publikacjach w ramach cyklu. Prawdopodobnie zaproponowane podejście oparte na mapowaniu „Mapping-based TL” jest rozwiązaniem nazwanym w literaturze jako „Feature Mapping” polegającym na przekształcaniu danych docelowych i źródłowych z wykorzystaniem „pewnych” przekazywanych cech – jeżeli tak, to rozwiązanie to **nie można zaliczyć jako istotny wkład tej publikacji w rozwój dyscypliny naukowej**. Ponadto w rozważaniach przedstawionych w artykule nr 1 brakuje opisu matematycznego potwierdzającego przewagę zastosowanego rozwiązania nad np. [55], [56], [57], [58], [59], [60], [61], [62].

W artykule nr 2 w ramach cyklu przedstawiono zastosowanie uczenia transferowego w którym wykorzystano wstępnie nauczoną sieć neuronową – „neural network-based TL”. Zaproponowane podejście jest oparte na wstępnie nauczonej sieci konwolucyjnej zapomocą algorytmu SGDM z wykorzystaniem 1000 epok, a następnie wykorzystano ją w systemie diagnostycznym, który nazwano: Model–Obiekt: aplikacja diagnostyczna silnika PMSM opracowana w oparciu o cechy zachowane w sygnałach prądu fazowego z modelu obwodu polowego PMSM oraz Obiekt–Obiekt: aplikacja diagnostyczna silnika PMSM opracowana w oparciu o informacje zachowane w mierzonych prądach

td

fazowych silnika indukcyjnego klatkowego. W artykule zbadano zachowanie systemu diagnostycznego w przypadku zwarcia międzyzwojowego (3 zwoje w fazie B) w stojanie silnika PMSM. Rezultaty badań eksperymentalnych potwierdzają, że system diagnostyczny pracuje w sposób prawidłowo również w stanach dynamicznych, jak np. zmiana momentu obciążenia. Średnie czasy reakcji na występujące awarie to poniżej 0.15 s, przy dokładności około 95-99% (w zależności od zastosowanego podejścia model-model lub model-obiekt, co należy uznać za wyniki bardzo dobre. W podsumowaniu stwierdzono, że możliwe jest zastosowanie cech uszkodzeń opracowanych dla silnika indukcyjnego w systemie diagnostycznym dla silnika PMSM. Ograniczeniem, które wpływa na dokładność systemu jest praca silnika przy niskim momencie obciążenia (odkształcenie prądów silnika), które zakłóciło pracę systemu diagnostycznego i wpłynęło na wykrycie awarii pomimo, że taka nie wystąpiła, co przedstawiono na rys. 7. W analizie brakuje przedstawienia pracy systemu przy właśnie takich anomaliach – odchyleniach od warunków, przy których sieć została nauczona oraz wskazanie metody zapobiegania. To, że można wykorzystać uczenie transferowe strukturach sieci neuronowych jest znane z literatury tematu od lat 80-tych dwudziestego wieku (jedną z pierwszych publikacji to *Stevó, Bozinovski and Ante Fulgosi (1976). "The influence of pattern similarity and transfer learning on the base perceptron training." (original in Croatian) Proceedings of Symposium Informatica 3-121-5, Bled.* Jest to dogodne rozwiązanie, które jak kandydat stwierdził w artykule nr 2 (...) „...the idea of TL eliminates the difficulties in selecting the hyperparameters of the CNN structure and the training process”, czyli eliminuje trudności z doбором odpowiedniej struktury sieci i jej parametrów wewnętrznych oraz metody uczenia. W publikacji nr 2 brak jest badań przedstawiających zachowanie systemu diagnostycznego w przypadku występowania anomalii na które sieć nie została nauczona, jak np. niski moment obciążenia bądź harmoniczne żłobkowe, które bardzo często występują w silnikach z magnesami trwałymi. Pojawiają się wtedy, w przebiegach prądów stojana, wyższe harmoniczne, które miałyby znaczący wpływ na pracę systemu diagnostycznego. Zagadnienie to wydaje się znacznie bardziej interesujące, niż analiza przedstawiona w publikacjach nr 1 i 2 z cyklu, w których badane jest zachowanie sieci z TL nauczonych wg wzorca (analiza spektralna). Ponadto w publikacjach tych nie odniesiono się do zachowania systemu diagnostycznego, gdy prędkość silnika jest niższa od założonych 50-100 Hz, np. 5-20 Hz, co potwierdza tylko, że przeprowadzona metodyka badawcza nie została zakończona lub nie została dobrana w sposób prawidłowy albo celem kandydata było przedstawienie tylko cech pozytywnych systemu diagnostycznego, a ukrycie istotnych jego wad. W związku z tym uznano, że badania nie są kompletne, a metodyka badawcza nie jest prawidłowa. Stąd stwierdzono, że **wkład artykułu nr 2 nie ma istotnego wpływu na rozwój dyscypliny naukowej.**

W artykule nr 7 w ramach cyklu przedstawiono rozszerzenie badań prowadzonych w rozprawie doktorskiej i przedstawionych w artykule nr 5 (z wykorzystaniem analizy spektralnej sygnałów prądu fazowych). Do opracowanej wcześniej struktury sieci Kohonena wprowadzono, jako dodatkowe wzorce diagnostyczne, wyniki uzyskane z symulacji modelu polowo-obwodowego z uwzględnieniem zwarć międzyzwojowych stojana oraz wzorców uszkodzenia wirnika (rozmagnesowania magnesu). Model polowy został opracowany w Ansys Maxwell oraz zastosowano Twin Builder w Matlab do wygenerowania napięć wejściowych (praca w zamkniętym układzie regulacji). Wykorzystano również sieć MLP trenowaną zgodnie z algorytmem Levenberga-Marquardta. W przypadku zastosowania sieci Kohonena kandydat zaproponował rozwiązanie polegającą na opracowaniu stref mapy charakterystycznych kategorii uszkodzeń (wartości średniej Euklidesowych miar odległości dla znanych przypadków z zestawu treningowego – co, po zastosowaniu funkcji $tgh(.)$, umożliwiło określenie stref przynależności neuronów do odpowiedniej kategorii defektów). W efekcie uzyskano precyzję detekcji systemu na poziomie 96,9 % i 88,6 % dla klasyfikacji uszkodzenia. Warto zwrócić uwagę na fakt, że badania zostały przeprowadzone w warunkach „idealnych” tzn. przebieg SEM silnika PMSM jest sinusoidalny oraz nie zamodelowano jakiegokolwiek asymetrii w silniku lub dodatkowych

harmonicznych w przebiegu SEM. W związku z tym uzyskana precyzja systemu powyżej 96 % nie została do końca uwiarygodniona (zbadana). Niemniej jednak należy podkreślić, że **zaproponowane rozwiązanie związane z opracowaniem stref map charakterystycznych kategorii uszkodzeń stanowi wkład publikacji w rozwój dyscypliny naukowej.**

W artykule nr 3 w ramach cyklu przedstawiono zastosowanie wielowarstwowego perceptronu (MLP) w detekcji uszkodzenia czujnika prądu w układzie sterowania zgodnie z wektorem pola (FOC) maszyną indukcyjną klatkową. Analizowano następujące stany awaryjne czujnika prądu: brak sygnału (open circuit), błąd wzmacnienia (gain change), błąd przesunięcia (offset), nasycenie (saturation). Sieć nauczono na podstawie algorytmu Levenberga-Marquardta. Detekcja awarii odbywała się na podstawie wartości residuum pomiędzy prądami mierzonymi i estymowanymi, przy założonej wartości progowej. Wyniki prac zostały opublikowane w czasopiśmie IEEE Trans. on Ind. Informatics. Kandydat zadeklarował 40% wkład w publikację i jest to: współudział w opracowaniu koncepcji systemu klasyfikacji uszkodzeń przetworników prądu w napędzie z silnikiem indukcyjnym, opracowanie metody adaptacji wartości progowej systemu detekcji defektów, współudział w wykonaniu badań eksperymentalnych, współudział w analizie i opracowaniu graficznym wyników badań eksperymentalnych, współredakcja artykułu. Należy zauważyć, że w układzie regulacji zastosowano rozwiązanie opisane w:

- M. Adamczyk and T. Orlowska-Kowalska, "Virtual current sensor in the fault-tolerant field-oriented control structure of an induction motor drive," *Sensors (Switzerland)*, vol. 19, no. 22, 2019, Art. no. 4979.

- M. Adamczyk and T. Orlowska-Kowalska, "Self-correcting virtual current sensor based on the modified Luenberger observer for fault tolerant induction motor drive," *Energies*, vol. 14, no. 20, 2021, Art. no. 6767.

polegające na określaniu wartości napięcia stojana na podstawie sygnałów z modulatora PWM, napięcia w obwodzie pośredniczącym oraz macierzy przekształceń, a następnie odpowiedniego estymatora prądu stojana. W takim podejściu pomiar prądu stojana nie jest potrzebny. Układ regulacji w chwili detekcji uszkodzenia czujnika korzysta z wartości prądu z estymatora prądu, a nie z wartości mierzonej. Uzyskana duża dokładność detekcji uszkodzeń czujnika prądu 97,2 % sprawia, że **zaproponowane rozwiązanie poprawia niezawodność układu napędowego. Rezultaty przedstawione w artykule nr 3 potwierdzają wkład w rozwój układów napędowych (w kierunku układów odpornych na zakłócenia z ang. fault-tolerant control FTC), a tym samym w rozwój dyscypliny naukowej.**

Artykuł nr 9 w ramach cyklu dotyczy tej samej tematyki, którą przedstawiono w artykule nr 3, czyli detekcji uszkodzeń pojedynczego czujnika pomiarowego prądu w układzie napędowym z silnikiem indukcyjnym klatkowym. W publikacji tej dodatkowo przedstawiono strukturę estymatora prądu z publikacji - M. Adamczyk and T. Orlowska-Kowalska, "Virtual current sensor in the fault-tolerant field-oriented control structure of an induction motor drive," *Sensors (Switzerland)*, vol. 19, no. 22, 2019, Art. no. 4979 oraz M. Adamczyk and T. Orlowska-Kowalska, "Self-correcting virtual current sensor based on the modified Luenberger observer for fault tolerant induction motor drive," *Energies*, vol. 14, no. 20, 2021, Art. no. 6767. Rodzaj sieci neuronowej (MLP), model detekcji uszkodzenia czujnika, metoda detekcji oraz kompensacji są takie same jak w artykule nr 3. Zaprezentowano ten sam model estymatora prądu co w M. Adamczyk and T. Orlowska-Kowalska, "Virtual current sensor in the fault-tolerant field-oriented control structure of an induction motor drive". W artykule nr 9 ograniczono się tylko do przedstawienia badań symulacyjnych. Stwierdzono, że artykuł nr 9 w ramach cyklu nie stanowi nowego rozwiązania w stosunku do tego zaprezentowanego w artykule nr 3. Dlatego uznano, że **wkład artykułu w kierunku rozwoju układów odpornych na zakłócenia FTC jest niewielki.**

W artykule nr 4 w ramach cyklu zastosowano tę samą strukturę sieci co w artykule nr 3 (warstwa wejściowa to 34 wejścia z czego 17 wejść to mierzone, a kolejne 17 to estymowane, dwie warstwy ukryte po 11 i 3 neurony), ale do diagnostyki uszkodzeń czujników prądu napędów z silnikami PMSM (również dla porównania zestawiono z silnikiem klatkowym). Wykorzystano estymator prądu bez pomiaru wartości prądu fazowego silnika przedstawiony w Y. Azzoug, M. Sahraoui, R. Pusca, T. Ameid, R. Romary, and A.J.M. Cardoso, "A Variable Speed Control of Permanent Magnet Synchronous Motor Without Current Sensors," in 020 IEEE 29th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), Delft, Netherlands, 2020, pp. 1523–1528. Rezultaty przedstawione w artykule nr 4 zawierają tylko badania symulacyjne, zrealizowane w bardzo ograniczonym zakresie – brak jest weryfikacji systemu diagnostycznego w warunkach eksperymentalnych. Dlatego stwierdzono, że badania nie są kompletne, a wartość naukowa artykułu nr 4 nie jest duża (taki sam model matematyczny modelowanego uszkodzenia, ten sam mechanizm detekcji i kompensacji, zbliżona metoda klasyfikacji, taka sama struktura sieci neuronowej co w artykule nr 3). W związku z powyższym stwierdzono, że **publikacja nr 4 nie ma istotnego wpływu w rozwój dyscypliny naukowej**, czego również kandydat nie wykazał w opisie autoreferatu.

Podsumowując, kandydat przedłożył do oceny 9 artykułów naukowych wchodzących w ramach cyklu publikacji pt. „*Diagnostyka uszkodzeń układów napędowych z silnikami prądu przemiennego z zastosowaniem głębokich sieci neuronowych uczonych transferowo i technik modelowania matematycznego*”. Jak stwierdzono powyżej, artykuły nr 5, 6 i 8 zawierają zagadnienia oraz rezultaty badań symulacyjnych i eksperymentalnych, które zostały przedstawione w rozprawie doktorskiej kandydata i nie mogą być rozpatrywane do oceny, gdyż stanowią w dużej części powielenie rozważań i wyników osiągniętych w rozprawie. Artykuły nr 1, 2 zostały przygotowane przez kandydata samodzielnie, natomiast 3, 4, 7, 9 są publikacjami współautorskimi w których kandydat posiada co najmniej 40% zadeklarowanego wkładu. Artykuły nr 1, 2 dotyczą przedmiotowego osiągnięcia naukowego, czyli sieci neuronowych uczonych w sposób transferowy. Pomimo zastosowania uczenia transferowego, które nie jest nowym podejściem w strukturach sieci neuronowych (pierwsza publikacja z 1976 r.) nie wykazano w nich istotnego wpływu na rozwój samej struktury sieci (ta się nie zmienia), sposobu uczenia (bo sposób trenowania nie został zmieniony, wprowadzie kandydat odnosi się do niego, ale z opisu trudno stwierdzić, co zostało poprawione i jak to wpływa na dokładność lub czas uczenia sieci) oraz na detekcję i ocenę stanu technicznego napędów z silnikami prądu przemiennego (gdyż ta tematyka została rozwiązana już wcześniej w rozprawie doktorskiej przez kandydata). W artykule 1 i 2 brak jest opisu matematycznego za pomocą którego kandydat mógłby udowodnić poprawność przyjętych założeń w zakresie wykorzystania uczenia transferowego. Metodyka przedstawionych badań w artykułach nr 1 i 2, jak i nr 7 została wybrana w sposób nieprawidłowy, albo tak, aby pokazać zalety rozwiązania z pominięciem słabych stron. W badaniach symulacyjnych i eksperymentalnych nie pokazano wpływu zakłóceń pochodzących z zewnątrz (np. mechanicznych - zużyte łożyska lub niewyważenie), konstrukcyjnych silnika (np. asymetria uzwojeń stojana, harmoniczne żłobkowe wynikające z kształtu stojana) lub uszkodzenia konstrukcji wirnika (uszkodzenia tylko jednego magnesu tej samej pary biegunów, a nie obu magnesów tej samej pary biegunów, jak zostało to zamodelowane w modelach matematycznych i w obiekcie rzeczywistym). W efekcie badania zrealizowano w zasymulowanych warunkach, które mogą znacznie odbiegać od rzeczywistych. Kandydat nie pokusił się też o weryfikację opracowanego systemu diagnostycznego na innych obiektach (a część badań zaprezentowanych w artykułach to symulacyjne) niż silniki rozważane w pracy doktorskiej – pomimo realizowanych projektów badawczych i posiadanych na to środków finansowych. Można było sprawdzić działanie systemu diagnostycznego w napędzie z silnikiem z magnesami trwałymi zagłębionymi (IPMSM). Ponadto zadaną prędkość silnika dobierano w taki sposób, aby ominąć wpływ

niskich wartości prądów stojana (oscylacje momentu) na pracę systemu diagnostycznego. Zazwyczaj była to prędkość 50-100 Hz, a nie np. 5-20 Hz i jak stwierdzono w recenzji powyżej (...) „potwierdza tylko, że przeprowadzona metodyka badawcza nie została zakończona lub nie została dobrana w sposób prawidłowy albo celem kandydata było przedstawienie tylko cech pozytywnych systemu diagnostycznego, a ukrycie istotnych wad”. Uwzględnienie niekorzystnych zjawisk lub zakresów momentu elektromagnetycznego w analizie uszkodzeń ukazałoby ich negatywny wpływ na precyzję systemu diagnostycznego, co pozwoliłoby na właściwą ocenę możliwości wykorzystania systemu diagnostycznego w praktyce. W związku z powyższym nie można jednoznacznie uznać, że osiągnięcie nr I: „*Opracowanie uniwersalnych metod detekcji i oceny stanu technicznego napędów z silnikami prądu przemiennego (IM oraz PMSM) przy wykorzystaniu technik uczenia transferowego głębokiej sieci neuronowej, zapewniających wysoką skuteczność podczas pracy w stanach ustalonych oraz przejściowych*” zostało odpowiednio zrealizowane i dowiedzione w kontekście rezultatów przedstawionych w rozprawie doktorskiej oraz pracach nr 5, 6 i 8, jak i dokładności systemu ponad lub bliskiej 95% (artykuł nr 5, 6 i 8). Nie dowiedziono również w jakim stopniu zastosowanie techniki uczenia transferowego zapewnia „wysoką skuteczność podczas pracy w stanach ustalonych oraz przejściowych” w stosunku do rozwiązań bez uczenia transferowego (artykuły nr 5, 6 i 8). Uważam, że osiągnięcie nr I nie zostało w pełni zrealizowane, przez co nie można jednoznacznie stwierdzić, że ma istotny wpływ na rozwój dyscypliny naukowej.

Drugim osiągnięciem jest „*Zastosowanie technik sztucznej inteligencji oraz modelowania matematycznego w diagnostyce układów napędowych z silnikami prądu przemiennego*” jest w zasadzie tym samym, co osiągnięcie I, gdyż oba dotyczą wykorzystania technik sztucznej inteligencji w związku z tym nie zostało ono właściwie zdefiniowane. Natomiast kandydat dodał podpunkty do osiągnięcia II i są to:

- *Opracowanie metod detekcji i klasyfikacji uszkodzeń czujników prądu w zamkniętych strukturach sterowania silnikami prądu przemiennego wykorzystujących sieci neuronowe uczone w części na wzorcach pozyskanych z modeli symulacyjnych.*
- *Wykorzystanie modeli polowo-obwodowych oraz klasycznych struktur neuronowych w diagnostyce uszkodzeń silnika PMSM.*

Powyżej w recenzji stwierdzono, że wkład w rozwój dyscypliny naukowej został wykazany poprzez rozwiązania zaprezentowane w artykułach nr 3, 7 i 9 (i oceniono jako niewielki).

4. OCENA ISTOTNEJ AKTYWNOŚCI NAUKOWEJ

Ocenie podlegają inne osiągnięcia niż wskazane w punkcie trzecim.

Pan dr inż. Maciej Skowron opublikował 20 publikacji współautorskich po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych (przed uzyskaniem stopnia doktora posiadał 22 publikacje). Łącznie jest współautorem 44 publikacji. Zgodnie z danymi nauko-metrycznymi po uzyskaniu stopnia doktora:

- IF to 46,70;
- Liczba punktów wg listy MNIŚW to 1600 pkt.;
- Liczba cytowani wg WoS to 308 (bez autocytowań);
- Indeks H w Web of Science: 10;
- Indeks H w Scopus: 11;
- Indeks Hirscha w Google Scholar: 12.

Po uzyskaniu stopnia doktora kandydat uczestniczył w 14 konferencjach naukowych na których przedstawiał wyniki swoich prac. Był wykonawcą w trzech projektach badawczych (2 projekty NCN) i jeden finansowany z środków UE. Posiada członkostwo w IEEE, IES, SEP i *Academia Ilnenum* Politechniki Wrocławskiej.

Odbył 2 staże:

- Politechnika krakowska Wydział Inżynierii Elektrycznej i Komputerowej (około 2,5 miesiąca), realizacja prac badawczych nad zastosowaniem uczenia głębokiego w diagnostyce układów wielomaszynowych;
- University of Lorraine, France Group of-Research in Electrical Engineering of Nancy (GREEN), staż krótkoterminowy (2 tygodnie).

Pełni funkcję promotora pomocniczego w przewodach doktorskich: mgr inż. Jakub Zielonka i mgr inż. Krystian Teler.

Jest edytorem pomocniczym (AE) w czasopiśmie: Power Electronics and Drives oraz był guest edytorem w Energies.

Wykonał ponad 35 recenzji w czasopismach o zakresie międzynarodowym w tym IEEE, IET, Energies, Electronics.

Kandydat otrzymał kilka nagród (Rektora PWr, za najlepszą prezentację na konferencji IECMA, Nagroda Polskiej sekcji IEEE na konf. SENE w 2019 r.). W 2024 r. został odnotowany w rankingu TOP 2% najczęściej cytowanych naukowców, opracowanym przez Uniwersytet Stanforda, wydawnictwo Elsevier oraz SciTech Strategies.

Podsumowując, pomimo młodego wieku, kandydat posiada indeks H powyżej 10, łączną liczbę cytowania prac ponad 300 (wg różnych baz), wykazał się dużą aktywnością na konferencjach krajowych jak i międzynarodowych, uczestniczył w 2 stażach badawczych, wykonał ponad 35 recenzji artykułów w czasopismach międzynarodowych. Jest promotorem pomocniczym w dwóch przewodach doktorskich. Natomiast w wykazie osiągnięć z Załącznika nr 4 nie podano, czy pełnił rolę opiekuna prac inżynierskich i magisterskich. Ponadto nie posiada wdrożeń ani zgłoszeń patentowych lub patentów (brak informacji). Brak informacji na temat osiągnięć badawczo-dydaktycznych. Dlatego stwierdzono, że kandydat wykazał się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej w szczególności zagranicznej jedynie w stopniu minimalnym.

5. WNIOSEK KOŃCOWY

Na podstawie dokonanej oceny osiągnięcia naukowego pt. „*Diagnostyka uszkodzeń układów napędowych z silnikami prądu przemiennego z zastosowaniem głębokich sieci neuronowych uczonych transferowo i technik modelowania matematycznego*” w którego zakres wchodzi:

I. *Opracowanie uniwersalnych metod detekcji i oceny stanu technicznego napędów z silnikami prądu przemiennego (IM oraz PMSM) przy wykorzystaniu technik uczenia transferowego głębokiej sieci neuronowej, zapewniających wysoką skuteczność podczas pracy w stanach ustalonych oraz przejściowych;*

II. *Zastosowanie technik sztucznej inteligencji oraz modelowania matematycznego w diagnostyce układów napędowych z silnikami prądu przemiennego (Opracowanie metod detekcji i klasyfikacji uszkodzeń czujników prądu w zamkniętych strukturach sterowania silnikami prądu przemiennego wykorzystujących sieci neuronowe uczone w części na wzorcach pozyskanych z modeli symulacyjnych,*

Wykorzystanie modeli polowo-obwodowych oraz klasycznych struktur neuronowych w diagnostyce uszkodzeń silnika PMSM);

stwierdzam, że złożone do oceny 9 publikacji stanowi cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych. Nie wszystkie artykuły z cyklu stanowią oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, gdyż 3 artykuły (nr 5, 6 i 8) przedstawiają zagadnienia merytoryczne i wyniki badań z rozprawy doktorskiej kandydata. Artykuły nr 1, 2, 4 są oryginalnym rozwiązaniem kandydata, natomiast ich wartość naukowa nie stanowi znacznego wkładu, gdyż nie wykazano w nich konkretnego wkładu w rozwój dyscypliny. Uznaje się zatem osiągnięcie naukowe I (artykuły nr 1, 2 i 4, bez 4, 6 i 8) jako zrealizowane w stopniu niedostatecznym. Wniosek o nadanie stopnia naukowego doktora habilitowanego w kontekście realizacji osiągnięcia I jest przedwczesny. Artykuły nr 3, 7 i 9 są oryginalnym rozwiązaniem kandydata, które stanowi wkład w rozwój dyscypliny naukowej Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne, ale w stopniu minimalnym. Są to rozwiązania współautorskie w których kandydat w prawdzie posiada 40 % udziału, ale Jego realny wkład polega na implementacji struktury sieci neuronowej, która została opracowana w publikacjach zrealizowanych wcześniej lub rozprawie doktorskiej.

Pomimo ww. uwag krytycznych, popieram wniosek o nadanie dr inż. Maciejowi Skowronowi stopnia naukowego doktora habilitowanego w dziedzinie Nauk Technicznych w dyscyplinie Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne, gdyż spełnia on w **stopniu minimalnym** wymagania podane w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce.



