

Dr hab. inż. Andrzej Waindok, prof. Uczelni
Katedra Elektrotechniki i Mechatroniki
Wydział Elektrotechniki, Automatyki i
Informatyki Politechnika Opolska
ul. Prószkowska 76, 45-758 Opole
E-mail: a.waindok@po.edu.pl

RECENZJA

osiągnięcia naukowego w postaci monografii pt. „Młyn elektromagnetyczny. Teoria projektowania i badania eksperymentalne” wraz z cyklem publikacji

dr inż. Dariusza Całusa

oraz całokształtu dorobku Habilitanta,
adiunkta w Politechnice Częstochowskiej na Wydziale Elektrycznym,
ubiegającego się o nadanie stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynierjno-
technicznych w Dyscyplinie Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne

1. Podstawy formalne opracowania recenzji i otrzymane dokumenty

Recenzja została opracowana na zlecenie Prorektora Politechniki Częstochowskiej prof. dr hab. inż. Jerzego Wysockiego oraz Dziekana Wydziału Elektrycznego Politechniki Częstochowskiej dr hab. inż. Marka Lisa z dnia 4 grudnia 2023 roku. Zgodnie z decyzją Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Częstochowskiej z dnia 23.11.2023 (Uchwała Nr 10/2023/2024) zostałem powołany do pełnienia funkcji recenzenta komisji habilitacyjnej w postępowaniu o nadania stopnia doktora habilitowanego dr inż. Dariuszowi Całusa.

W dniu 7 grudnia 2023 roku otrzymałem materiały związane z postępowaniem habilitacyjnym, które zawierają:

- dane wnioskodawcy,
- odpis dyplomu uzyskania stopnia doktora nauk technicznych,
- odpis świadectwa ukończenia studiów podyplomowych w SGH w Warszawie,
- kopię świadectwa ukończenia studium pedagogicznego,
- autoreferat (omawiający m.in. cel naukowy osiągnięcia, uzyskane wyniki wraz z ewentualnymi możliwościami ich wykorzystania, aktywność naukową realizowaną w innych jednostkach, udział w projektach, osiągnięcia dydaktyczne, organizacyjne oraz popularyzujące naukę),
- wykaz osiągnięć naukowych,
- informację o aktywności naukowej,
- informację o współpracy z otoczeniem społecznym i gospodarczym,
- wykaz publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego wraz z tymi publikacjami,
- oświadczenia współautorów,

- analizę dorobku naukowego i cytowań opracowaną przez Oddział Informacji Naukowej Bibliotek Politechniki Częstochowskiej,
- wykaz publikacji niewchodzących w skład osiągnięcia naukowego wraz z ich kopiami,
- dokumenty potwierdzające osiągnięcia autora przedstawione w Autoreferacie.

Należy podkreślić, że wymienione materiały zostały dostarczone zarówno w formie papierowej, jak i elektronicznej. Warty podkreślenia jest także fakt starannego przygotowania materiałów, ułatwiającego pracę recenzentom.

2. Podstawowe informacje o Habilitancie

Dr inż. Dariusz Całus jest absolwentem Wydziału Elektrycznego Politechniki Częstochowskiej (kierunek *elektrotechnika*, specjalność: *przetwarzanie i użytkowanie energii elektrycznej*), który ukończył w roku 1993 uzyskując stopień magistra inżyniera.

W dniu 21 grudnia 2006 roku obronił rozprawę doktorską na Wydziale Elektrycznym Politechniki Częstochowskiej pt.: „Zastosowanie teorii skalowania do analizy dielektrycznego falowodu cylindrycznego”, uzyskując stopień naukowy doktora nauk technicznych. Promotorem rozprawy był Prof. Andrzej Rusek.

Habilitant związał swoje życie zawodowe głównie z Politechniką Częstochowską. W latach 1992-2005 pracował jako asystent w Zakładzie Maszyn i Napędów Elektrycznych w Instytucie Elektroniki i Systemów Sterowania Wydziału Elektrycznego Politechniki Częstochowskiej, gdzie od roku 2008 jest adiunktem (obecnie w Katedrze Elektroenergetyki Wydziału Elektrycznego Politechniki Częstochowskiej). W latach 2017-2019 był kierownikiem Zakładu Maszyn i Napędów Elektrycznych w Instytucie Elektroenergetyki Wydziału Elektrycznego Politechniki Częstochowskiej. W roku 2020 oraz w okresie od 1 kwietnia 2021 roku do 31 grudnia 2023 roku był koordynatorem zespołu badawczego w Katedrze Elektroenergetyki Wydziału Elektrycznego Politechniki Częstochowskiej, który realizował temat: „Synteza, praktyczna i teoretyczna analiza układów elektromechanicznych i energoelektronicznych, odnawialnych źródeł energii oraz magazynów energii”. Należy podkreślić, że praca zawodowa dr inż. Dariusza Całusa jest związana także z Informatyką. Pracował na stanowisku informatyka ds. LBD w Ośrodku Informatyki Urzędu Wojewódzkiego w Częstochowie (1993-1997), starszego specjalisty w Departamencie Informatyki Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Warszawie (2007-2014), naczelnika Wydziału Informatyki w Starostwie Powiatowym w piasecznie (2010-2011) oraz świadczył usługi informatyczne w ramach umowy zlecenia dla Samodzielnego Zakładu Opieki Zdrowotnej w Sulejówku.

3. Ocena osiągnięcia naukowego

Jako osiągnięcie naukowe, stanowiące wkład w rozwój dyscypliny naukowej Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Habilitant wskazał monografię naukową pt.: „Młyn elektromagnetyczny. Teoria projektowania i badania eksperymentalne” wraz z cyklem publikacji powiązanych z nią tematycznie. Jako tytuł osiągnięcia naukowego podał: „Młyn elektromagnetyczny - teoria projektowania i badania eksperymentalne”.

Monografia liczy 210 stron i składa się z 4 rozdziałów, wprowadzenia, podsumowania i wniosków, spisu literatury (173 pozycje) oraz dwóch załączników. Należy zaznaczyć, że praca jest napisana dobrze, poprawnym i zrozumiałym językiem, z dbałością o szczegóły. Pojawiające się błędy edytorskie występują rzadko i nie wpływają na jakość pracy. Jedynie w przypadku niektórych rysunków i wykresów Autor mógł zastosować większą czcionkę (np. rys. 2.7, 3.3, 3.4).

Jako cykl publikacji Habilitant wskazał 7 poniższych pozycji:

- [1] Całus D., Makarchuk O., *Analysis of interaction of forces of working elements in electromagnetic mill*, Przegląd Elektrotechniczny, 2019, No 12, pp. 64-69.
- [2] Całus D., *Zastosowanie młynów elektromagnetycznych do zintensyfikowania procesów technologicznych ukierunkowanych na ekoinnowacyjne rozwiązania*, Rozdział w monografii: *Możliwości i Horyzonty Ekoinnowacyjności - Proekologiczne rozwiązania innowacyjne jako elementy transformacji energetycznej*, 2020, s. 95-108.
- [3] Makarchuk O., Całus D., Moroz. *Mathematical model to calculate the trajectories of electromagnetic mill operating elements*, Technical Electrodynamics (Tekhnichna Elektrodynamika), 2021, No. 2, pp. 26-34.
- [4] Makarchuk O., Calus D., *Research of the performance indicator of an electromagnetic mill*, Technical Electrodynamics (Tekhnichna Elektrodynamika), 2022, No.1, pp.50-57.
- [5] Całus D., *Analysis of the Thermal Processes in an Electromagnetic Mill*, Energies 2022, Vol. 15(21), pp. 7899(1-14).
- [6] Całus D., Makarchuk O., Domanowski P., Bujnowski S., *Study of Magnetic Mill Productivity*, Applied Sciences, 2023, Vol. 13(11), pp. 6538(1-25).
- [7] Całus D., *Experimental Research into the Efficiency of an Electromagnetic Mill*, Applied Sciences, 2023, Vol. 13(15), pp. 8717(1-18).

Spośród wymienionych publikacji pozycje [1]-[4] cechują się zerowym IF (Impact Factor). Pozycje [5][7] mają IF na poziomie 3,2 (Energies) oraz 2,7 (Applied Sciences) i zostały opublikowane w wydawnictwie *mdpi*. Trzy z wymienionych publikacji zostały napisane przez habilitanta samodzielnie.

3.1. Aktualność podjętej tematyki

Tematyka osiągnięcia naukowego obejmuje opracowanie teorii projektowania oraz przeprowadzenie badań eksperymentalnych młyna elektromagnetycznego (w skrócie MEM). Podjęty w pracy temat jest aktualny i istotny z punktu widzenia współczesnego przemysłu chemicznego, energetycznego, spożywczego, budownictwa, górnictwa, medycyny, jak również laboratoriów i instytutów badawczych. W każdej z wymienionych gałęzi przemysłu istotną rolę odgrywają procesy mielenia i mieszania różnych substancji. Coraz większą uwagę zwraca się również na kosztowność tego typu procesu. W związku z powyższym jak najbardziej aktualne są badania dotyczące młynów, w tym elektromagnetycznych, mające na celu optymalizację proces mielenia. Sam proces mielenia jest trudny w modelowaniu i wymaga przyjęcia szeregu założeń upraszczających. W przypadku MEM konieczne jest uwzględnienie kilku zjawisk fizycznych jednocześnie (pole elektromagnetyczne, nagrzewanie, zjawiska mechaniczne), co dodatkowo komplikuje analizę. Z kolei zjawiska stochastyczne występujące podczas mielenia utrudniają weryfikację pomiarową wykonanych modeli matematycznych.

Na świecie istnieje niewiele ośrodków zajmujących się badaniami teoretycznymi i eksperymentalnymi młynów elektromagnetycznych. Można wśród nich wymienić: National Technical University (Kharkiv Polytechnic Institute) w Ukrainie, firmę Hitachi, Shandong University w Chinach. W Polsce właściwie tylko Politechnika Częstochowska prowadzi szersze badania w tym zakresie. Jeżeli chodzi o firmy, to w Polsce produkcją MEM zajmuje się ELTRAF z Lublińca oraz MEGATECH Zbigniew Gałuszkiewicz z Częstochowy, z którą Habilitant współpracuje. Pozostałe firmy oferujące MEM na terenie Polski bazują na technologiach zagranicznych. Niewielka liczba ośrodków zajmujących się tematem MEM, jego istotne znaczenie dla gospodarki, a także konieczność optymalizacji istniejących konstrukcji świadczy o aktualności podjętej przez Habilitanta tematyki.

3.2. Ocena merytoryczna monografii

W monografii przedstawiono rozwiązanie konstrukcyjne induktora MEM z wirującym polem magnetycznym, jak również opisano autorskie opracowanie modelu matematycznego i metody wykorzystywane do projektowania i budowy MEM. Istotną częścią jest przedstawienie wyników badań wpływu konstrukcji i cech technologicznych na podstawowe parametry MEM.

W pierwszym i najobszerniejszym rozdziale monografii Autor opisał zagadnienia związane z projektowaniem induktora młyna elektromagnetycznego. Jako parametry projektowe wskazano: moc elektryczną pobieraną przez MEM, współczynnik mocy, napięcie zasilania induktora, wymiary komory roboczej (KR), wielkość i liczbę mielników biorących udział w procesie mielenia i wydajność młyna, którą zdefiniowano jako objętość lub masę substancji roboczej uzyskiwaną w procesie mielenia w jednostce czasu. Rozdział zawiera szczegółowy opis budowy i zasady działania młyna elektromagnetycznego, a także precyzyjny przykład syntezy projektowej MEM. Projektowanie jest opisane zgodnie z praktyką inżynierską i rozpoczyna się od doboru uzwojenia młyna. W kolejnych podrozdziałach jest opisany sposób doboru kształtu i wymiarów żłobka induktora, obliczenie rezystancji i indukcyjności uzwojeń, sposób uwzględnienia nieliniowej charakterystyki magnesowania rdzenia, obliczenie wielkości elektromagnetycznych, sposób wyznaczenia strat podstawowych i dodatkowych w uzwojeniu oraz strat w obwodzie magnetycznym. W celu obliczenia parametrów statycznych (prąd fazowy, współczynnik mocy, średnia wartość indukcji w komorze roboczej) wykorzystano transformację Parka do układu współrzędnych dq , co jest powszechnie stosowane w przypadku maszyn indukcyjnych 3-fazowych. Przedstawione w pracy założenia upraszczające dla modelu matematycznego są poprawne i ściśle związane z fizyką zjawisk występujących w MEM. Niewątpliwie wartościową cechą pracy jest opracowanie (rozd. 1.2.6) schematu zastępczego nieliniowego obwodu magnetycznego urządzenia (wykorzystano tu Metodę Sieci Reluktancyjnych - MSR), który pozwala na szybkie i wystarczająco dokładne, z punktu widzenia projektanta, wyznaczenie żądanych parametrów (strumienie skojarzone, strumienie magnetyczne, prądy wzbudzenia, indukcja magnetyczna, działające siły magnetyczne). Opracowany nieliniowy model dla parametrów statycznych znajduje zastosowanie w modelu dynamicznym. W celu wyznaczenia parametrów całkowitych pola, a w szczególności charakterystyki magnetycznej młyna (zależność strumieni skojarzonych z uzwojeniami w funkcji wartości prądów wzbudzenia) Autor wykorzystuje dodatkowo metodę elementów skończonych (MES), co zwiększa dokładność analizy. W rozdz. 1.3.4 przedstawiony jest model dynamiczny MEM. Otrzymane równania różniczkowe zwyczajne są rozwiązywane metodą Geara (można tu mieć jedynie wątpliwość, czy konieczne było używanie metody stosowanej najczęściej dla układów źle uwarunkowanych). W przypadku obliczeń stanów nieustalonych dokonano porównania modelu opartego na MSR (zwanego przez Autora modelem analitycznym, choć ściśle rzecz biorąc jest on obliczany z wykorzystaniem metod numerycznych) z modelem polowo-obwodowym w środowisku ANSYS Multiphysics, wykonanym z

wykorzystaniem język APDL. W modelu tym zaimplementowano ten sam, co w modelu opartym o schemat zastępczy obwodu magnetycznego, algorytm rozwiązywania równań różniczkowych zwyczajnych. Otrzymano niezłą zgodność wyników obliczeń pomiędzy modelem połowo-obwodowym opartym o MSR i MES. Otrzymana wartość błędu maksymalnego na poziomie 25% (obliczanie mocy pobranej) jest akceptowalna, jeśli wziąć pod uwagę złożoność zachodzących w MEM zjawisk fizycznych oraz znacznie krótszy czas obliczeń modelu opartego o MSR. W rozdziale 1.4 zaprezentowano wykorzystanie modelu MES do analizy czynników wpływających na pole sił elektromagnetycznych działających na mielnik. Przeprowadzono analizę dla różnych położeń mielnika. Szkoda, że uwzględniono tylko jeden mielnik, co jest pewnym mankamentem, gdyż nie pozwala na wyciągnięcie szerszych wniosków dla przypadku większej liczby mielników w komorze roboczej (w szczególności chodzi tu o wpływ na rozkład pola magnetycznego).

W rozdziale drugim monografii Habilitant przedstawił zagadnienia związane z procesami cieplnymi oraz metodami chłodzenia MEM. W pierwszym podrozdziale szczegółowo została opisana konstrukcja układu chłodzenia, co ułatwia późniejszą analizę modelu termicznego. W przypadku uzwojenia oraz rdzenia magnetycznego pakietowanego, przyjęto, że warstwy są jednorodną bryłą odwzorowującą rzeczywiste uzwojenie oraz rdzeń (dokonano ich homogenizacji). W związku z tym zaproponowano równoważne współczynniki przewodności cieplnej, które mają różne wartości w ortogonalnych kierunkach przekazywania ciepła. Jest to dopuszczalne uproszczenie modelu termicznego, nie wprowadzające istotnych błędów w wynikach obliczeń. Ważnym elementem analizy jest także odpowiedni dobór warunków brzegowych, którymi są współczynniki oddawania ciepła dla różnych powierzchni konstrukcji MEM. Zostały one wyczerpująco opisane w rozdziale 2.3. W tym miejscu należy podkreślić, że Habilitant wykonał zarówno termiczny model połowy MEM w środowisku ANSYS, jak również uproszczony model bazujący na termicznym schemacie zastępczym (obwodowy schemat zastępczy). Model połowy posłużył w tym przypadku do kalibracji modelu obwodowego. Wyznaczenie odpowiednich rezystancji termicznych modelu zastępczego jest wartościową i cenną częścią pracy, świadczącą o dobrym warsztacie teoretycznym Habilitanta. Porównanie wyników obliczeń otrzymanych z MES i termicznego schematu zastępczego dowodzi słuszności przyjętych założeń – różnice nie przekraczają 10%.

W rozdziale trzecim przedstawiono badanie dynamiki ruchu mielników w wirującym polu magnetycznym. Model matematyczny sformułowano w oparciu o zasadę d’Alamberta. Model jest sformułowany poprawnie i uwzględnia wszystkie najważniejsze parametry. Pewnym ograniczeniem jest opisanie ruchu mielników równaniami dynamiki dla figury płaskiej. W celu uproszczenia analizy w modelu dokonano interpolacji modułu sił elektromagnetycznych oraz kątów nachylenia wektora siły elektromagnetycznej w funkcji fazy wypadkowej SMM i kąta nachylenia promienia położenia mielnika, które otrzymano z obliczeń modelu MES (dla jednego mielnika) w postaci funkcji określonej tabelarycznej (FOT). Jest to podejście oryginalne dla tego typu obiektów. W modelu uwzględniono również siły oporu hydrodynamicznego oraz interakcje (odbicia) między mielnikami i cząstkami substancji roboczej. Bardzo ważnym i oryginalnym osiągnięciem Habilitanta jest opracowanie metody określenia wydajności młyna elektromagnetycznego, którą opisano w rozdziale 3.5. Autor wprowadził bezwymiarowy wskaźnik wydajności mielenia, który oznaczył jako P_m . Umożliwia on uwzględnienie wielu czynników, w tym wpływu efektywności procesu mielenia, parametrów konstrukcyjnych induktora młyna, rozmiaru komory roboczej oraz liczby, kształtu i wielkości mielników. Pewnym mankamentem jest brak bardziej szczegółowego opisu genezy otrzymanej zależności. W ostatnim podrozdziale opisano wyniki przeprowadzonych eksperymentów obliczeniowych. Szczególnie ciekawe są wyniki analizy wpływu wybranych parametrów na wydajność MEM, gdzie pod uwagę wzięto takie parametry jak: stosunek długości do średnicy mielnika, wypełnienie komory roboczej, średnicę

mielnika. Potencjał opracowanego modelu matematycznego pokazują analizy MEM z całkowitą liczbą mielników wynoszącą 874, trudną do zamodelowania z wykorzystaniem metod polowych opartych na MES.

Czwarty rozdział zawiera wyniki badań eksperymentalnych laboratoryjnego modelu MEM. W pierwszym podrozdziale szczegółowo opisano konstrukcję urządzenia laboratoryjnego oraz sposób pomiaru indukcji magnetycznej statycznej i momentu obrotowego działającego na mielnik. Podrozdział 4.2 zawiera wyniki pomiarów indukcji magnetycznej wewnątrz komory roboczej oraz ich porównanie z obliczeniami MES. Różnice pomiędzy wartościami średnimi kwadratowymi indukcji magnetycznej nie przekroczyły 11%. W rozdziale 4.3 zamieszczono wyniki obliczeń momentu obrotowego działającego na mielnik. Otrzymane różnice pomiędzy pomiarami i modelem MES są istotnie większe niż w przypadku pomiarów indukcji magnetycznej i sięgają 22%. Niestety Autor nie podejmuje się wyjaśnienia powstałych różnic. Najciekawsze wyniki badań, dotyczące dynamiki ruchu mielników, przedstawiono w podrozdziale 4.4. Porównano tu wyniki pomiarów z opracowanym autorskim modelem matematycznym. Weryfikacja pomiarowa została ograniczona do 5 mielników. Ciekawym aspektem było wykorzystanie szybkiej kamery z dedykowanym oprogramowaniem. Wyniki pomiarów wykazały akceptowalną zgodność z obliczeniami. Niemniej jednak, pewien niedosyt pozostawia brak weryfikacji pomiarowej dla większej liczby mielników, w tym brak weryfikacji autorskiego wskaźnika wydajności mielenia. Wprawdzie Habilitant pisze, że na podstawie przeprowadzonej weryfikacji pomiarowej, można określić teoretycznie ten wskaźnik, ale nie jest to poparte bezpośrednimi wynikami eksperymentu. W rozdziale nie wyjaśniono również, dlaczego w warunku początkowym przy obliczeniach ruchu mielników nie uwzględniono ich początkowego momentu obrotowego, który niewątpliwie ma wpływ na przebieg obliczeń.

W podsumowaniu i wnioskach zawarto wszystkie najważniejsze informacje będące efektem prowadzonych badań. Jedynie informacja dotycząca sformułowania zaleceń dla doboru kroku całkowania i wymaganych środków obliczeniowych nie jest do końca prawdziwa, gdyż w monografii brakuje takich informacji.

Spis literatury zawiera 173 pozycje, które są powiązane z tematem monografii. Większość publikacji pochodzi z ostatnich 10 lat, a więc jest aktualna. Odwołania do starszych pozycji są rzadkie i mają swoje uzasadnienie.

Podsumowując należy stwierdzić, że przedstawiona monografia stanowi istotny wkład w modelowanie i projektowanie młynów elektromagnetycznych. Opracowane autorskie modele matematyczne pozwalają efektywnie analizować różne konstrukcje MEM bez konieczności wytwarzania kosztownych modeli fizycznych. Moim zdaniem, szczególnie wartościowe jest opracowanie metody obliczania parametrów magnetycznych młyna, które pozwala na 2 - 2,5 krotne zwiększenie szybkości obliczeń w zagadnieniach badań dynamiki złożonych układów elektromechanicznych. Ważne z punktu widzenia praktycznego jest także opracowanie termicznego schematu zastępczego opracowanego na podstawie analizy wyników obliczeń trójwymiarowych pól temperatur i ich gradientów, opracowanie modeli matematycznych do obliczania trajektorii ruchu mielników ferromagnetycznych oraz opracowanie algorytmu obliczania wydajności MEM.

3.3. Ocena merytoryczna cyklu publikacji

Habilitant, jako osiągnięcie naukowe, wskazał także cykl 7 publikacji, których ocenę zamieściłem poniżej.

Całus D., Makarchuk O., Analysis of interaction of forces of working elements in electromagnetic mill, Przegląd Elektrotechniczny, 2019, No 12, pp. 64-69.

W artykule przedstawiono wyniki analizy sił działających na mielniki w komorze roboczej. Opisano budowę i zasadę działania MEM. Model matematyczny oparto na MES i wykonano w środowisku ANSYS. Siłę działającą na mielniki liczący w oparciu o tensor naprężeń Maxwella. Przedstawione badania są tematycznie powiązane z zawartymi w rozdziale 1.4 monografii habilitacyjnej. W artykule nie zamieszczono weryfikacji pomiarowej wykonanych obliczeń. Obliczenia miały na celu określenie wpływu położenia oraz kąta obrotu na wartość siły działającą na mielniki, co jest istotne przy opracowaniu modelu oddziaływania młynów z wirującym polem magnetycznym.

Całus D., Zastosowanie młynów elektromagnetycznych do zintensyfikowania procesów technologicznych ukierunkowanych na ekoinnowacyjne rozwiązania, Rozdział w monografii: Możliwości i Horyzonty Ekoinnowacyjności - Proekologiczne rozwiązania innowacyjne jako elementy transformacji energetycznej, 2020, s. 95-108.

W artykule zawarto ogólne informacje na temat wykorzystania młynów elektromagnetycznych w przemyśle, opisano spotykane rozwiązania konstrukcji MEM, przedstawiono klasyfikację młynów elektromagnetycznych prądu przemiennego, zastosowanie w przemyśle, a także, sposób skrótowy, wskaźniki wydajności i metody badawcze stosowane w analizie MEM. Jest to artykuł przeglądowy, o charakterze opisowym i popularnonaukowym. Część zawartych w nim informacji znalazła się we wprowadzeniu do monografii habilitacyjnej.

Makarchuk O., Całus D., Moroz. Mathematical model to calculate the trajectories of electromagnetic mill operating elements, Technical Electrodynamics (Tekhnichna Elektrodynamika), 2021, No. 2, pp. 26-34.

W artykule, napisanym z naukowcami z Politechniki Lwowskiej, przedstawiono model matematyczny służący obliczaniu trajektorii młynów poruszających się w wirującym polu magnetycznym młynika elektromagnetycznego. W modelu uwzględniono siły elektromagnetyczne oraz opory ruchu młynów (tarcie hydrodynamiczne). W celu określenia zmian wektora siły działającego na młynik w funkcji fazy wypadkowej siły magnetomotorycznej, długości promienia położenia środka masy młynika oraz kąta nachylenia tego promienia wykorzystano interpolację wielomianami Taylora. Zastosowano algorytm znajdowania interpolowanej wartości dla funkcji określonej tabelarycznie (FOT) za pomocą obliczeń z wykorzystaniem MES. Przedstawiono wyniki obliczeń dla 10 oraz 874 młynów. Artykuł zawiera wyniki badań powiązane tematycznie z rozdziałami 3.2, 3.3, 3.4 oraz fragmentem rozdziału 3.6 monografii habilitacyjnej.

Makarchuk O., Całus D., Research of the performance indicator of an electromagnetic mill, Technical Electrodynamics (Tekhnichna Elektrodynamika), 2022, No.1, pp.50-57.

W artykule, napisanym z naukowcami z Politechniki Lwowskiej, przedstawiono autorską metodę określania wydajności MEM. Artykuł zawiera opis zależności pozwalającej na określenie wydajności MEM, a także wyprowadzenie zależności pozwalających na określenie zrywu oraz średniej wartości impulsu. Moduł zrywu określono z wykorzystaniem wzoru interpolacyjnego Taylora dla funkcji

tabelarycznych składowych prędkości środka masy mielnika. Pozwoliło to na uproszczenie analizy i przyspieszenie obliczeń, w szczególności wyznaczania drugiej pochodnej prędkości. W publikacji zawarto także wyniki obliczeń przesunięcia, prędkości oraz modułu zrywu dla symulacji, w której przyjęto wypełnienie komory roboczej mielnikami na poziomie 5% oraz cząstkami na poziomie 25%. Przyjęto, że mielniki mają 2,5 mm średnicy oraz 10 mm długości. Dodatkowo przeprowadzono i opisano obliczenia wykonane dla mielników o wymiarach (średnica x długość) 2,0x4,0 mm oraz 4,0x8,0 mm. Artykuł zawiera wyniki badań powiązane tematycznie z rozdziałem 3.5 monografii habilitacyjnej.

Całus D., Analysis of the Thermal Processes in an Electromagnetic Mill, Energies 2022, Vol. 15(21), pp. 7899(1-14).

W artykule przedstawiono model temperaturowy MEM. Opisano budowę i zasadę działania układu chłodzenia. Szczegółowo został przedstawiony numeryczny model polowy na podstawie którego opracowano i szczegółowo opisano obwodowy model termiczny MEM. Struktura uproszczonego modelu obwodowego została określona na podstawie wyników obliczeń modelu polowego. Dla niejednorodnej struktury rdzenia oraz uzwojeń dokonano homogenizacji przewodności cieplnej. Przedstawione porównanie modelu obwodowego (analitycznego) z modelem opartym na MES potwierdziło słuszność przyjętych założeń. Szczególną zaletą modelu obwodowego jest znacznie krótszy czas obliczeń. Artykuł zawiera wyniki badań tematycznie powiązane z rozdziałami 2.1 i 2.4 monografii habilitacyjnej.

Całus D., Makarchuk O., Domanowski P., Bujnowski S., Study of Magnetic Mill Productivity, Applied Sciences, 2023, Vol. 13(11), pp. 6538(1-25).

W publikacji Habilitant szczegółowo przedstawił zagadnienie związane z określeniem wydajności młyna magnetycznego, w którym wykorzystano jako źródło pola magnetycznego magnesy trwałe. W celu wytworzenia pola magnetycznego induktor obraca się wokół komory roboczej. Opisano działanie młyna oraz metody badawcze. Przedstawiono siły i momenty obrotowe działające na mielniki w wirującym polu magnetycznym, wykorzystując obliczenia MES. Opisano szczegółowo algorytm interpolacji dla funkcji tabelarycznych sił i momentów obrotowych – wykorzystano tu wielomian interpolacyjny Taylora 2-go rzędu. Sposób analizy jest podobny do przedstawionego w rozdziale 3.2 monografii. Wartościową częścią publikacji jest opis modelu dynamicznego młyna magnetycznego. Wyniki obliczeń dla 5 podłużnych mielników oraz 8 cząstek przeanalizowano szczegółowo w rozdziale 8 publikacji. Tamże znalazły się także obliczenia dla 390 mielników i 70 cząstek substancji roboczej. W rozdziale 9 artykułu habilitant opisał autorski wskaźnik jakości młyna magnetycznego. Istotną częścią publikacji jest weryfikacja pomiarowa modelu. Przedstawione wyniki potwierdzają poprawność przyjętych założeń dla modelu matematycznego i jednocześnie wskazują na możliwe jego udoskonalenia. Wyniki badań zaprezentowane w artykule nie były zawarte ani w pracy habilitacyjnej, ani w innych publikacjach Autora.

Całus D., Experimental Research into the Efficiency of an Electromagnetic Mill, Applied Sciences, 2023, Vol. 13(15), pp. 8717(1-18).

W samodzielnym artykule przedstawiono eksperymentalne badania sprawności mielenia młyna elektromagnetycznego. Sprawność zdefiniowano jako masę zmielonej substancji w jednostce czasu. Opisano stanowisko laboratoryjne oraz wyniki 22 badań eksperymentalnych dla różnych wielkości mielników oraz substancji roboczej. Analiza objęła mielenie węgla wapnia (CaCO_3). Wyniki eksperymentalne aproksymowano wielomianem 2-go rzędu czterech zmiennych. W celu określenia wartości 15 współczynników rozwiązano odpowiedni układ równań. W pracy został także

przedstawiony model matematyczny procesu mielenia (model dynamiczny), który wykorzystuje wyniki obliczeń polowych sił i momentów działających na mielniki (określono je z wykorzystaniem metody prac wirtualnych). Przykładowe wyniki obliczeń obejmowały 23 mielniki oraz 273 cząstki materiału roboczego. Oryginalnym osiągnięciem Autora jest opis sposobu określania sprawności oraz jakości mielenia (rozdział 6 artykułu). Opracowana metodologia stanowi istotne osiągnięcie Habilitanta, szczególnie jeśli wziąć pod uwagę poziom złożoności obiektu oraz stochastyczny charakter procesów zachodzących w MEM.

3.4. Podsumowanie

Biorąc pod uwagę powyższe stwierdzam, że przedstawione do oceny osiągnięcia naukowe w postaci autorskiej monografii oraz cyklu 7 powiązanych z nią publikacji naukowych wnoszą znaczący wkład w rozwój dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne. Habilitant wykazał się zarówno szeroką wiedzą teoretyczną, jak i praktyczną. Przedstawione wyniki badań oraz opracowane modele matematyczne stanowią istotny wkład w projektowanie i optymalizację młynów elektromagnetycznych, a także magnetycznych (wykorzystujących magnesy trwałe).

4. Ocena istotnej działalności naukowej Habilitanta

4.1. Publikacje naukowe w czasopismach indeksowanych w bazie Web of Science, Scopus i Google Scholar

Dorobek naukowy Habilitanta obejmuje 12 publikacji przed uzyskaniem stopnia doktora oraz 90 publikacji po jego uzyskaniu. Liczba publikacji w czasopismach z JCR (Journal Citation Reports) wynosi 16.

Analiza dorobku naukowego z wykorzystaniem oceny parametrycznej (w dniu zgłoszenia wniosku – wg. bazy wiedzy Politechniki Częstochowskiej) przedstawia się następująco:

- Sumaryczny **Impact factor (IF)** według listy JCR jest równy **36,133**.
- Sumaryczna **liczba punktów wszystkich publikacji** po uzyskaniu stopnia doktora na podstawie punktacji MEiN zgodnie z rokiem wydania wynosi **3981** (udział własny to **862 pkt.**).
- **Liczba cytowań** publikacji według **Web of Science** wynosi **60** z autocytowaniami i **41** bez autocytowań (w bazie jest 15 publikacji).
- **Liczba cytowań** publikacji według bazy **Scopus** wynosi **77** z autocytowaniami i **46** bez autocytowań (w bazie jest 18 publikacji).
- **Liczba cytowań** publikacji według **Google Scholar** wynosi **104** z autocytowaniami i **73** bez autocytowań (w bazie są 23 publikacje).
- **Indeks Hirscha** według bazy **Web of Science** oraz według bazy **Scopus** wynosi **5**.
- **Indeks Hirscha** według bazy **Google Scholar** wynosi **6**.

Należy podkreślić, że wszystkie 16 prac w bazie JCR zostało opublikowanych po uzyskaniu stopnia doktora, co świadczy o istotnym wzroście aktywności Habilitanta w zakresie działalności naukowobadawczej. Znakomita większość publikacji przypada na ostatnie 3 lata działalności naukowobadawczej. Wartość indeksu Hirscha jest wystarczająca i świadczy o cytowalności prac Habilitanta.

4.2. Monografie i publikacje naukowe w czasopismach innych niż znajdujące się w bazie JCR – po doktoracie

W trakcie swojej pracy naukowej Habilitant opublikował szereg artykułów naukowych i monografii oraz rozdziałów w monografiach, które nie znajdują się w JCR. Zgodnie z danymi bibliograficznymi:

- Autorstwo lub współautorstwo monografii naukowych – 20.
- Autorstwo lub współautorstwo rozdziału w monografii naukowej – 15.
- Redakcja monografii naukowych – 7.
- Publikacje w czasopismach naukowych nie posiadających współczynnika Impact Factor – 21.
- Publikacje w materiałach konferencyjnych – 13 (w tym 2 zagraniczne).
- Patent – 2.
- Wzór użytkowy – 1.

4.3. Udział w projektach oraz współpraca z otoczeniem gospodarczym

Habilitant brał udział w 5 projektach, współfinansowanych zarówno ze środków operacyjnych, jak i NCBiR:

- Międzynarodowy projekt pt.: „Gmina samowystarczalna energetycznie”, w ramach Funduszu Współpracy Bilateralnej ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2009-2014 dla Programu Operacyjnego PL04 „Oszczędzanie energii i promowanie odnawialnych źródeł energii. Nr wniosku o dofinansowanie 893/2017. *(Pomysłodawca i główny wykonawca)*
- Praca badawcza nr BZ-3-300-1/2018 dotycząca opracowania układu prostownika współpracującego z magazynem energii kinetycznej 1 MVA realizowana przez Politechnikę Częstochowską w ramach projektu z programu INNOMOTO, działanie 2.1 pt.: „Opracowanie wysokoobrotowego silnika PM BLDC jako magazynu energii kinetycznej wraz z elementami infrastruktury zapewniającej doładowanie magazynu oraz szybkie odzyskiwanie energii i przetwarzanie jej do formy i parametrów pozwalających na efektywne wykorzystanie przez standardowe urządzenia”. Praca była współfinansowana w ramach umowy o dofinansowanie numer POIR.01.02.00-00-0326/16-00. Okres realizacji to 27.11.2017-31.12.2022 r. *(Koordynator ze strony Politechniki Częstochowskiej)*
- Projekt pt.: „Opracowanie aplikacji internetowej (medyczna platforma edukacyjna) na potrzeby zastosowań innowacyjnych technologii i sposobów leczenia w wybranych specjalizacjach medycznych – Health World Research Centre” w ramach projektu „ACCELPOINT – akcelerator inteligentnych technologii rozwiązujących problemy instytucji publicznych” w ramach Programu Operacyjnego Polska Cyfrowa 2014-2020. Okres trwania projektu to 30.06.2020-02.12.2020 r. *(Pomysłodawca i kierownik projektu)*

- Projekt pt.: „Rescue Energy – przeprowadzenie badań przemysłowych i prac rozwojowych oraz opracowanie innowacyjnego źródła zasilania defibrylatora opartego o autorskie superkondensatory”. Projekt był współfinansowany przez NCBiR z Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój 2014-2020. Okres trwania projektu to 01.06.2021-31.10.2022 r. *(Pomysłodawca i kierownik projektu)*
- Projekt pt.: „ProSpeed Energy - przeprowadzenie badań przemysłowych i prac rozwojowych oraz opracowanie innowacyjnej technologii systemu szybkiego przekazywania energii w układzie źródło zasilania/odbiornik”. Projekt był współfinansowany przez NCBiR z Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój 2014-2020. Okres trwania projektu to 01.09.2022-31.10.2023 r. *(Pomysłodawca i wykonawca prac B+R)*

Habilitant współpracował lub współpracuje z następującymi podmiotami gospodarczymi:

- Tauron Nowe Technologie S.A. w zakresie prac badawczych i wdrożeniowych związanych z efektywnością energetyczną OZE, wykorzystaniem wodoru jako paliwa przyszłości, elektromobilnością, magazynowaniem energii, wykorzystaniem metanu w instalacjach kogeneracyjnych.
- MedCool Sp. z o.o. w zakresie prac badawczych i wdrożeniowych związanych z technologią zasilania i zabezpieczeń autonomicznych systemów do transportu krwi i materiałów krwiopochodnych.
- Krajowe Centrum Nowych technologii Sp. z o.o. w zakresie prac badawczo-naukowych i wdrożeniowych.
- SoftBlue S.A. w zakresie opracowania i wdrożenia technologii dotyczącej pomiarów parametrów i wydajności urządzeń oraz maszyn produkcyjnych.

Habilitant był także promotorem pomocniczym w przewodzie doktorskim mgr Piotra Chabeckiego pt.: „Właściwości dielektryczne bezwodnych cieczy i żeli jonowych w aspekcie ich zastosowania w superkondensatorach”. Doktorat był realizowany na Wydziale Elektrycznym Politechniki Częstochowskiej.

4.4. Działalność naukowa realizowana w więcej niż jednej uczelni lub instytucji naukowej, w szczególności zagranicznej

Habilitant odbył jeden staż przemysłowy i jeden staż naukowy. Staż przemysłowy trwał 6 miesięcy (01.05.2018-31.10.2018) i odbył się w firmie MEGATECH Zbigniew Gałuszkiewicz. W ramach stażu Habilitant zapoznał się z budową i zasadą działania młyna elektromagnetycznego (MEM), służącego do rozdrabniania lub mieszania różnego rodzaju substancji. Staż ten pozwolił na przeprowadzenie badań eksperymentalnych MEM, których wyniki Habilitant wykorzystał w monografii habilitacyjnej oraz publikacjach.

Dr inż. Dariusz Całusa odbył także zagraniczny staż naukowy, który trwał 3 miesiące (26.04.2021-29.07.2021) i odbył się na Uniwersytecie Narodowym Politechniki Lwowskiej (Instytut Energetyki i Systemów Sterowania, Katedra Elektromechatroniki i Elektromechanicznych Systemów Komputeryzowanych). Staż ten był tematycznie związanych z pracą habilitacyjną. W ramach stażu habilitant poszerzył swoją wiedzę związaną z modelowaniem matematycznych, metodą elementów skończonych, oprogramowaniem ANSYS oraz obliczeniami pól sprzężonych. Podczas stażu wygłosił referat, a także opracował publikację wraz z pracownikami z Politechniki Lwowskiej.

5. Ocena osiągnięć dydaktycznych

Dr inż. Dariusz Całus pracuje w szkolnictwie wyższym od roku 1997, najpierw jako asystent (do roku 2007), a następnie jako adiunkt na Wydziale Elektrycznym politechniki Częstochowskiej. W roku 2005 ukończył Międzywydziałowe Studium Kształcenia i Doskonalenia Nauczycieli na Politechnice Częstochowskiej uzyskując uprawnienia do nauczania w szkolnictwie wyższym.

W trakcie swojej pracy dydaktycznej prowadził zajęcia w formie wykładów, ćwiczeń i laboratoriów z 17 przedmiotów o szerokim zakresie tematycznym, obejmującym: maszyny i napęd elektryczny, elektromechaniczne systemy napędowe, programowanie w języku C++, metodykę i technikę programowania, algorytmy, metody numeryczne, informatykę, technologię informacyjną, bezpieczeństwo i ochronę danych, kryptografię, grafikę 3D, sieci teleinformatyczne. Tak duży zakres realizowanych zagadnień świadczy o szerokiej wiedzy i woli do samokształcenia się, jak również o dużym zaangażowaniu dydaktycznym.

Od roku akademickiego 2008/2009 do 2022/2023 był promotorem 43 prac inżynierskich oraz 14 prac magisterskich. Był także promotorem pracy magisterskiej, która zajęła III miejsce w konkursie „Najlepsza praca dyplomowa” w kategorii prac magisterskich organizowanym przez SEP i Wydział Elektryczny Politechniki Częstochowskiej (mgr inż. Gilbert Dębski, „Projekt stanowiska do badania napędów zwrotnic tramwajowych”).

W roku 2014 poprowadził trzygodzinny wykład zamawiany, otwarty, na kierunku *Energetyka* dla studentów Wydziału Mechanicznego UTH w Radomiu im. Kazimierza Puławskiego, z zakresu wykorzystania zasobników energii w układach zasilania elektrycznego. Był także opiekunem dr inż. Andrzeja Andrzejewskiego (Wydział Elektryczny, Politechnika Białostocka) podczas odbytego przez niego stażu dydaktycznego w Zakładzie Maszyn i Napędów Elektrycznych na Wydziale Elektrycznym Politechniki Częstochowskiej. Staż dydaktyczny zrealizowany został w 2018 roku ramach programu „PB2020 - Zintegrowany Program Rozwoju Politechniki Białostockiej”, współfinansowanego przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego.

W latach 2009-2012 był Członkiem Komisji ds. Programów Nauczania, natomiast w latach 2020-2021 był członkiem zespołu ds. uruchomienia studiów podyplomowych dla pracowników Tauron Dystrybucja z zakresu OZE i elektromobilności.

6. Ocena dorobku organizacyjnego i popularyzatorskiego

Dr inż. Dariusz Całus był i jest bardzo zaangażowany w działalność organizacyjną Wydziału Elektrycznego Politechniki Częstochowskiej, a także w działalność organizacyjną związaną z otoczeniem społeczno-gospodarczym.

Od 15.02.1997r. do 30.09.2005r. był pełnomocnikiem Dziekana w/w Wydziału d/s informatyzacji. W tym okresie wykonał projekt sieci komputerowej Wydziału Elektrycznego Politechniki Częstochowskiej i koordynował prace związane z jej wdrożeniem. Habilitant jest głównym pomysłodawcą oraz kluczowym organizatorem cyklicznego Sympozjum Naukowego „ProEnergO”, które jest organizowane od 2014r. W ramach tego sympozjum zorganizował 6 spotkań naukowych. Był także członkiem komitetów organizacyjnych 3 konferencji.

W ramach prac organizacyjnych pełnił (a w niektórych przypadkach wciąż pełni) szereg funkcji na Politechnice Częstochowskiej.: kierownik Zakładu Maszyn i Napędów Elektrycznych w Instytucie Elektroenergetyki Wydziału Elektrycznego Politechniki Częstochowskiej (po zmianie nazwy Zakładu Energoelektroniki, Maszyn i Napędów Elektrycznych) w latach 2017-2019, członek Rady Wydziału Elektrycznego Politechniki Częstochowskiej (2017-2019), koordynator Zespołu Badawczego w Katedrze

Elektroenergetyki Wydziału Elektrycznego Politechniki Częstochowskiej (2020, 2021-2023), członek Kolegium Elektorów Politechniki Częstochowskiej (od 2020), członek Senatu Politechniki Częstochowskiej (2020-2024).

Oprócz działalności organizacyjnej na Politechnice Częstochowskiej, prowadził (bądź prowadzi) także działalność powiązaną z otoczeniem gospodarczym, jako: członek Rady Nadzorczej Spółki WODKAN Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji S.A. w Ostrowie Wielkopolskim (2006 – 2008), członek Rady Nadzorczej Przedsiębiorstwa Energetyki Ciepłej Geotermia Podhalańska S.A. (od 21.12.2020 r.), członek Rady Naukowej Polskiego Klubu Ekologicznego – Okręg Małopolska (od 15.03.2021 r.).

Habilitant był inicjatorem i brał czynny udział w 3 spotkaniach roboczych przedstawicieli Wydziału Elektrycznego Politechniki Częstochowskiej z przedstawicielami spółki TAURON Nowe Technologie S.A. Efektem wymienionych spotkań było podpisanie listu intencyjnego o współpracy w zakresie realizacji inicjatyw badawczo-rozwojowych oraz edukacyjnych w kierunku opracowania nowych produktów i usług w zakresie zwiększenia efektywności energetycznej OZE ze szczególnym uwzględnieniem wodoru jako paliwa oraz rozwiązań Smart Grid.

Praca organizacyjna dr inż. Dariusza Całusa została doceniona przyznaniem 4 nagród:

- Nagroda Rektora Politechniki Częstochowskiej, Wyróżnienie Rektora za szczególne osiągnięcia organizacyjne, 15.12.1999 r.
- Zespołowa nagroda Rektora Politechniki Częstochowskiej stopnia III za działalność organizacyjną, 04.12.2012 r.
- Zespołowa nagroda Rektora Politechniki Częstochowskiej stopnia III za organizację Sympozjum Naukowego ProEnerg – Możliwości i horyzonty ekoinnowacyjności, 15.12.2016 r (przyznana w listopadzie 2018 r.).
- Brązowy Krzyż Zasługi Prezydenta RP za zasługi w działalności społecznej oraz naukowobadawczej, legitymacja nr 15-2021-1, 21.01.2021 r.

Dr inż. Dariusz Całus otrzymał także 6 nagród na krajowych i międzynarodowych wystawach i targach:

- NASR Award na *iENA International Exhibition 2018* - Nürnberg.
- Silbermedaille na *iENA International Exhibition 2018* - Nürnberg.
- Gold Medal na *International Warsaw Invention Show (IWIS)* w 2018 roku.
- Gold Prize na *Seoul International Invention Fair 2018*.
- Gold Award na *5th International Young Inventors Award* w 2018 roku (Sanur, Bali, Indonezja).
- Special Award na *Bangkok International Intellectual Property, Invention, Innovation Technology Exposition (IPITEX)* w 2018 roku.
- Silver Medal na *Bangkok International Intellectual Property, Invention, Innovation Technology Exposition* w 2019 roku.

Oprócz działalności organizacyjnej Habilitant udzielał się również w obszarze popularyzacji nauki. Opracował koncepcję medycznej platformy internetowej Health WRC pełniącej funkcję edukacyjnonaukowo-technologiczną i służącej do gromadzenia wiedzy w zakresie technologicznych rozwiązań wykorzystywanych w medycynie. Koncepcja została zrealizowana w ramach projektu „ACCELPOINT – akcelerator inteligentnych technologii rozwiązujących problemy instytucji publicznych”. W roku 2020

udzielił pomocy merytorycznej przy organizacji konferencji pt. "Międzynarodowa Innowacyjność i Konkurencyjność w XXI w. - MIK-21", której celem jest promocja nauki wśród studentów i doktorantów.

Dr inż. Dariusz Całus jest członkiem Polskiego Towarzystwa Elektrotechniki Teoretycznej i Stosowanej (PTETIS), Polskiego Towarzystwa Zastosowań Elektromagnetyzmu (PTZE) oraz Stowarzyszenia Elektryków Polskich (SEP).

7. Wniosek końcowy

W moim przekonaniu **przedłożone osiągnięcie naukowe** w postaci monografii habilitacyjnej wraz z cyklem publikacji dr. inż. Dariusza Całusa **wnosi znaczny wkład w rozwój dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne** i wraz z całokształtem dorobku naukowego spełnia wymogi o których mowa w art. 219 ust. 1 ustawy z 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2023 r. poz. 742). Biorąc pod uwagę powyższe **popieram wniosek o nadanie Panu dr inż. Dariuszowi Całusa stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie naukowej Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne**, określonej w rozporządzeniu Ministra Edukacji i Nauki z 11 października 2022 roku (Dz. U. poz. 2202).

Dr hab. inż. Andrzej Waindak