Załącznik nr 3a do Wniosku o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego

AUTOREFERAT

1. Imię i nazwisko

Mariusz Adam STĘPIEŃ

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania, tytułu rozprawy doktorskiej i nazwisk osób, które pełniły funkcje promotora i recenzentów

Stopień naukowy:
Stopień naukowy **doktora nauk technicznych** w zakresie ***elektrotechniki*** nadany decyzją Rady Wydziału Elektrycznego Politechniki Śląskiej z dnia **21 marca 2006 r.**, na podstawie rozprawy doktorskiej pt. ***Analiza właściwości oraz optymalizacja konstrukcji transformatora energoelektronicznego z uzwojeniami koncentrycznymi silnie sprzężonymi***. Promotor w przewodzie doktorskim: dr hab. inż. Bogusław Grzesik, prof. PŚ., recenzenci: prof. dr hab. inż. Sławomir Wiak, prof. dr hab. inż. Tadeusz Glinka.

Tytuł zawodowy:
Tytuł zawodowy **magistra inżyniera** uzyskany na kierunku Elektrotechnika, specjalność „***Przetwarzanie i użytkowanie energii elektrycznej***", nadany przez Wydział Elektryczny Politechniki Śląskiej w dniu **20 listopada 2009 r.**, tytuł pracy magisterskiej: „***Analiza transformatora powietrznego wysokiej częstotliwości z wykorzystaniem programu ANSYS***".

Inne (istotne dla oceny sylwetki w postępowaniu habilitacyjnym):

Słuchacz rocznego **Studium Doskonalenia Pedagogicznego** w okresie **01.10.2002 – 02.06.2003 r.**, zrealizowanego w Ośrodku Badań i Doskonalenia Dydaktyki Politechniki Śląskiej w wymiarze 128 godzin z wynikiem bardzo dobrym.

Słuchacz **Szkolenia** przygotowującego do pracy w charakterze **Kierownika Projektów Badawczych** przeprowadzonego w okresie **12.05.2009 – 23.06.2009 r.** w wymiarze 25 godzin przez Politechnikę Śląską.

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

Stanowisko: Asystent
Okres zatrudnienia: 15.12.2004 – 31.05.2006 r.
Jednostka zatrudniająca: Politechnika Śląska, Katedra Energoelektroniki, Napędu Elektrycznego i Robotyki
Forma zatrudnienia: umowa o pracę

Stanowisko: Adiunkt
Okres zatrudnienia: od 01.06.2006 (do nadal)
Jednostka zatrudniająca: Politechnika Śląska, Katedra Energoelektroniki, Napędu Elektrycznego i Robotyki
Forma zatrudnienia: mianowanie

4. Wskazanie osiągnięcia naukowego, uzyskanego po otrzymaniu stopnia doktora, stanowiącego istotny wkład w rozwój dyscypliny elektrotechnika zgodnie z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki

a) tytuł osiągnięcia naukowego:

Cykl **12 powiązanych tematycznie** publikacji naukowych, indeksowanych w Web of Science, oraz **5 patentów UPRP,** stanowiących wspólnie osiągnięcie naukowe pt.:

Analiza i optymalizacja złożonych torów prądowych w układach przekształcania energii elektrycznej

b) wykaz prac naukowych (autor/autorzy, tytuł/tytuły publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa, nazwa czasopisma, tom , strony)

Publikacje (w porządku chronologicznym)**:**

[A1] **Stępień Mariusz**, Krosny Sebastian, Grzesik Bogusław, **2010**, Analysis of quench propagation using coupled electrical-thermal FEM model, ***Journal of Physics: Conference Series***, 234 (2), 022036, pp. 1-7, DOI:10.1088/1742-6596/234/2/022036

*(**IF=0,456**, pkt. MNiSW=13, cytowania WoS=1, Scopus=2, Google Scholar=3)*

*(Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu koncepcji modeli numerycznych, w tym algorytmu obliczeniowego, przeprowadzeniu zasadniczej części analizy numerycznej oraz analizie wyników, a także opracowaniu manuskryptu. **Mój udział procentowy szacuję na 80%**).*

[A2] Grzesik Bogusław, **Stępień Mariusz**, **2012**, Analysis of coils equivalent parameters for biomedical TET applications, *IEEE Power Electronics and Motion Control Conference*, pp. LS8a.2-1 - LS8a.2-4, DOI: 10.1109/EPEPEMC.2012.6397520.

*(Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu modeli numerycznych, analizie numerycznej i analizie wyników, realizacji pomiarów, opracowaniu manuskryptu. **Mój udział procentowy szacuję na 85%**).*

[A3] **Stępień Mariusz**, Grzesik Bogusław, **2012**, BLDC-control of forces in passive magnetic bearings in blood pump, *IEEE Power Electronics and Motion Control Conference*, pp. LS8a.3-1 - LS8a.3-3, DOI: 10.1109/EPEPEMC.2012.6397522

*(Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na częściowej analizie koncepcyjnej, przeprowadzeniu kompleksowych badań numerycznych i analizie wyników, przygotowaniu manuskryptu. **Mój udział procentowy szacuję na 70%**).*

[A4] Grzesik Bogusław, **Stępień Mariusz**, **2012**, Topology of TET system with soft switched converters, *IEEE Power Electronics and Motion Control Conference*, pp. LS8a.1-1 - LS8a.1-3, DOI: 10.1109/EPEPEMC.2012.6397521.

*(Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na analizie stanu wiedzy w zakresie sprawności systemów bezprzewodowej transmisji energii, badaniach analitycznych sprawności przekształtnika, analizie usytuowania baterii w układzie, a także częściowej edycji manuskryptu. **Mój udział procentowy szacuję na 55%**)*

[A5] **Stępień Mariusz**, Grzesik Bogusław, **2014**, A hybrid AC and DC power source for the tests of an HTS tapes, *IEEE Industrial Electronics (ISIE) Symposium*, pp. 336-340, DOI: 10.1109/ISIE.2014.6864635

(Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na analizie koncepcyjnej, przygotowaniu stanowiska badawczego, realizacji pomiarów, analizie wyników i opracowaniu manuskryptu. ***Mój udział procentowy szacuję na 90%).***

[A6] Grzesik Bogusław, **Stępień Mariusz**, **2014**, Toroidal superconducting transformer with cold magnetic core - results of analysis and measurements, ***Journal of Physics: Conference Series***, 507 (2), 032043, pp. 1-4, DOI: 10.1088/1742-6596/507/3/032043.

(Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na analizie koncepcyjnej, opracowaniu struktury urządzenia, częściowej analizie numerycznej, ekstrakcji parametrów do schematu zastępczego oraz przygotowaniu zasadniczej części manuskryptu. ***Mój udział procentowy szacuję na 55%).***

[A7] **Stępień Mariusz**, Grzesik Bogusław, **2014**, Analysis of transient state in HTS tapes under ripple DC load current, ***Journal of Physics: Conference Series***, 507(PART 2),022036, DOI: 10.1088/1742-6596/507/2/022036

(Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu stanowiska pomiarowego, przeprowadzeniu pomiarów oraz obróbki wyników do analizy, przeprowadzeniu referencyjnych badań numerycznych oraz przygotowaniu manuskryptu. ***Mój udział procentowy szacuję na 85%).***

[A8] **Stępień Mariusz**, Grzesik Bogusław, Mikno Zygmunt, **2015**, Analysis of actuators for large armature displacement, *Prooc. of 2015 International Conference on Sustainable Mobility Applications, Renewables and Technology (Smart)*, Kuwait, IEEE Conf., DOI: 10.1109/SMART.2015.7399240

(Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na przeprowadzeniu zasadniczej części analizy koncepcyjnej, w tym doboru parametrów do analizy numerycznej, opracowaniu modeli numerycznych i przeprowadzeniu pełnej analizy numerycznej, dyskusji wyników oraz przygotowaniu manuskryptu w wersji podstawowej /przedrecenzyjnej/. ***Mój udział procentowy szacuję na 65%).***

[A9] Zermeno Rodriguez Victor, Habelok Krzysztof, **Stępień Mariusz**, Grilli Francesco, **2017**, A parameter-free method to extract the superconductor's $J_c(B,\theta)$ field-dependence from in-field current–voltage characteristics of high temperature superconductor tapes, ***Superconductor Science and Technology***, Vol. 30, No. 3. DOI: 10.1088/1361-6668/30/3/034001

***(IF=2,717**, pkt. MNiSW=35, cytowania WoS=4, Scopus=10, Google Scholar=12)*

(Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na analizie koncepcyjnej w zakresie sposobu właściwego pomiaru prądu krytycznego w polu magnetycznym, przyczyn występowania asymetrii charakterystyki, dyskusji wyników w zakresie struktury algorytmu tworzenia modelu taśmy na podstawie danych pomiarowych. ***Mój udział procentowy szacuję na 15%).***

[A10] Mikno Zygmunt, **Stępień Mariusz**, Grzesik Bogusław, **2017**, Optimization of resistance welding by using electric servo actuator, ***Welding in the World, Springer***, Volume: 61 Issue: 3 Pages: 453-462 Published: MAY 2017, DOI: 10.1007/s40194-017-0437-x

***(IF=0,861**, pkt. MNiSW=25, cytowania WoS=0, Scopus=1, Google Scholar=3)*

(Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na analizie koncepcyjnej, w szczególności na przeglądzie stanu wiedzy w zakresie kosztów zgrzewania rezystancyjnego, dyskusji modelu numerycznego i doboru parametrów modelowania, dyskusji wyników numerycznych w zakresie doboru zakresu parametrów analizy porównawczej oraz udział w przygotowaniu stanowiska pomiarowego w szczególności oprzyrządowania pomiarowego oraz udział w badaniach eksperymentalnych. ***Mój udział procentowy szacuję na 30%).***

[A11] Berger Kevin, Kapek Jakub, Colle Alexandre, **Stepien Mariusz**, Grzesik Boguslaw, Lubin Thierry, Leveque Jean, **2018**, 3-D Modeling of Coils for Pulsed Field Magnetization of HTS Bulk Pellets in an Electrical Machine, ***IEEE Transactions on Applied Superconductivity***, Volume: 28 Issue: 4 Published: JUN 2018, DOI: 10.1109/TASC.2018.2804906

(IF=1,288*, pkt. MNiSW=20, cytowania WoS=0, Scopus=0, Google Scholar=1)*

(Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na analizie koncepcyjnej, w szczególności w zakresie sposobu skonstruowania układu impulsowego magnesowania nadprzewodników oraz struktury układu generowania impulsów magnesujących i ich sterowania, a także w zakresie dyskusji wyników, w szczególności interpretacji wyników modelowania pola magnetycznego w analizowanej maszynie. ***Mój udział procentowy szacuję na 18%).***

[A12] Kubiczek Krzysztof, Grilli Francesco, Kario Anna, Godfrin Aurelien, Zermeno Victor Manuel Rodriguez, **Stepien Mariusz**, Kampik Marian, **2019**, Length Uniformity of the Angular Dependences of Ic and n of Commercial REBCO Tapes with Artificial Pinning at 77 K, ***IEEE Transactions on Applied Superconductivity***, vol.1, Issue 1, pages 1 – 9, DOI: 10.1109/TASC.2018.2854673

(IF=1,288*, pkt. MNiSW=20, cytowania WoS=0, Scopus=0, Google Scholar=0)*

(Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na analizie koncepcyjnej, w szczególności w zakresie doboru taśm nadprzewodnikowych do badań oraz sposobu definicji punktów pomiarowych, dyskusji wyników, w szczególności w zakresie sposobu prezentacji wyników pomiarowych, umożliwiającego ich najefektywniejszą analizę porównawczą oraz właściwą interpretację oraz częściowej edycji manuskryptu w zakresie weryfikacji poprawności opisu rysunków i ich właściwego przypisania do tekstu, a także edycji korekt na etapie procesu recenzyjnego. ***Mój udział procentowy szacuję na 10%).***

Patenty:

[P1]. Transformator modułowy energoelektroniczny, zwłaszcza do układów zasilania zgrzewarek rezystancyjnych, Patent nr PAT.230519 wg zgłoszenia patentowego nr PL419015 z dnia 06.10.2016 r., data opublikowania 30.11.2018 r, autorzy: Mikno Zygmunt, Grzesik Bogusław, **Stępień Mariusz**

(Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu wstępnej idei transformatora, analizie stanu wiedzy w zakresie konkurencyjnych wyników, analizy weryfikacyjnej właściwości transformatora będącego przedmiotem patentu, przygotowaniu zasadniczej części opisu patentowego. ***Mój udział procentowy szacuję na 33%).***

[P2]. Kaskada elektromagnetyczna, zwłaszcza do zgrzewarek rezystancyjnych, Patent nr PAT.222475 wg zgłoszenia patentowego nr PL406332 z dnia 02.12.2013 r., data opublikowania 08.06.2015 r, autorzy: Grzesik Bogusław, Mikno Zygmunt, **Stępień Mariusz**

(Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na analizie koncepcyjnej przedmiotu wynalazku, przebadaniu właściwości kaskady trójmodułowej, reprezentatywnej dla wynalazku o dowolnej

liczbie modułów, analizie bieżącego stanu rozwiązania, częściowej edycji opisu patentowego. ***Mój udział procentowy szacuję na 34%).***

[P3]. Zgrzewarka inwertorowa, zwłaszcza do zgrzewania punktowego, Patent nr PAT.222764 wg zgłoszenia patentowego nr PL406887 z dnia 16.01.2014 r., data opublikowania 03.08.2015 r., autorzy: Mikno Zygmunt, Grzesik Bogusław, **Stępień Mariusz**, Piątek Marian, Oborski Wojciech

(Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na analizie koncepcyjnej pod względem sprawności urządzenia, weryfikacji funkcjonalnej obwodu wyjściowego, analizie porównawczej rozwiązań konkurencyjnych, częściowej edycji opisu patentowego. ***Mój udział procentowy szacuję na 25%).***

[P4]. Sposób sterowania zgrzewarką z serwomechanicznym dociskiem i urządzenie do stosowania tego sposobu, Patent nr PAT.226755 wg zgłoszenia patentowego nr PL412614 z dnia 08.06.2015 r., data opublikowania: 29.09.2017 r., autorzy Mikno Zygmunt, Grzesik Bogusław, **Stępień Mariusz**, Czylok Kazimierz

(Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na analizie koncepcyjnej systemu sterowania i częściowej edycji opisu patentowego. ***Mój udział procentowy szacuję na 15%).***

[P5]. Układ stabilizacji napięcia wewnętrznego zwłaszcza do zasilania całkowicie wszczepialnego sztucznego serca, Patent nr PAT.218650 wg zgłoszenia patentowego nr PL395966 z dnia 16.08.2011 r., data opublikowania: 18.02.2013 r., autorzy Grzesik Bogusław, Brandt Jacek, Kaczmarczyk Zbigniew, **Stępień Mariusz**, Cieśla Tomasz, Szczurek Zbigniew

(Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na analizie koncepcyjnej w zakresie transmisji bezprzewodowej energii i detekcji stanu odbiornika, przeprowadzeniu badań weryfikujących poprawność rozwiązania w tym zakresie oraz edycji zasadniczej części opisu patentowego. ***Mój udział procentowy szacuję na 16%).***

c) omówienie celu naukowego w/w prac i osiągniętych wyników, wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.

Cel naukowy i motywacja prowadzonych badań

Współczesne trendy rozwoju elektrotechniki są następstwem ciągle rosnącego zapotrzebowania na energię elektryczną, zarówno wykorzystywaną przez odbiorców indywidualnych, jak i przemysłowych, oraz oczekiwań nakierowanych na coraz bardziej efektywne jej dostarczanie i przetwarzanie. Otwiera to znaczne możliwości rozwoju energoelektroniki, ale jednocześnie stawia przed nią zaawansowane wyzwania badawczo-rozwojowe. Jest to szczególnie istotne ze względu na coraz szersze spektrum wykorzystania energii elektrycznej w przemyśle, włączając w to branże, które dotychczas z elektrotechniką i energoelektroniką nie były zbyt silnie związane. Przykładem może tu być branża motoryzacyjna, rozwijająca się w zakresie nowych technologii elektrotechnicznych zarówno w procesach wytwarzania, jak i eksploatacji pojazdów.

Efektywne dostarczanie i przetwarzanie energii elektrycznej to przede wszystkim wysoka sprawność i duża gęstość energii torów przepływu prądu, zarówno tych, którymi energia jest wyłącznie transportowana, jak i tych w których jest ona przetwarzana (celem dostosowania parametrów energii do wymagań określonych zastosowań przemysłowych). Uzyskanie lub poprawa wskazanych parametrów energii, czyli sprawności jej przesyłania i przetwarzania przy

odpowiedniej gęstości energii jest współcześnie uzyskiwana zasadniczo na dwa sposoby (stosowane jako każdy z osobna lub wspólnie), to jest poprzez stosowanie nowych, zaawansowanych technologicznie materiałów oraz poprzez podwyższenie częstotliwości przekształcania energii. Opracowanie praktyczne takich rozwiązań jest istotnym wyzwaniem badawczo-rozwojowym, wynikającym w szczególności z dużego zróżnicowania złożoności poszczególnych elementów toru przekształcania energii. Tor transmisji i przetwarzania energii może zawierać zarówno proste geometrycznie elementy przewodzące prąd, jak i zaawansowane materiałowo i konstrukcyjnie elementy przetwarzania energii, głównie przekształtniki i transformatory. Uzyskanie wysokiej sprawności i jednocześnie dużej gęstości mocy wymaga najczęściej złożonej analizy i optymalizacji całości toru prądowego lub przynajmniej jego kluczowych elementów. Sformułowanie to można traktować jako tezę, której udowodnienie było przedmiotem badań wnioskodawcy opisanych w niniejszym opracowaniu.

Motywacją do podjęcia badań w takim właśnie zakresie była rozwijająca się na przestrzeni lat współpraca wnioskodawcy z wieloma ośrodkami naukowymi i przedsiębiorstwami realizującym przedsięwzięcia badawczo rozwojowe, która wykazała, że praktycznie we wszystkich przypadkach działania podejmowane w celu poprawy sprawności i gęstości mocy sprowadzały się do optymalizacji toru prądowego, a najlepsze ich rezultaty były uzyskiwane poprzez odpowiednie połączenie metod analityczno-numerycznych z badaniami eksperymentalnymi. Ze względu na specyfikę zespołu badawczego, w skład którego wchodzi wnioskodawca, podejmowane do rozwiązania problemy badawcze dotyczyły torów prądowych o dość znacznych wartościach prądów i mocy, współpracujących z układami energoelektronicznymi.

Wyniki badań poświęconych analizie i optymalizacji torów prądowych przedstawiono w niniejszym opracowaniu na przykładzie trzech różnych procesów przetwarzania energii zrealizowanych w tym samym celu, to jest podwyższeniu sprawności i gęstości przetwarzanej w torze prądowym energii.

Charakterystyka zrealizowanych prac badawczych

Prace badawcze, stanowiące osiągnięcie naukowe wnioskodawcy, są wynikiem realizacji badań prowadzonych przez wnioskodawcę w Katedrze Energoelektroniki, Napędu Elektrycznego i Robotyki na Politechnice Śląskiej oraz we współpracy z ośrodkami zewnętrznymi, w tym krajowymi (głównie Instytutem Spawalnictwa oraz Instytutem Techniki i Aparatury Medycznej) i zagranicznymi (działającymi głównie w obszarze nadprzewodnictwa: Karlsruhe Institute of Technology oraz Universite de Lorraine). Tematyka analizy i optymalizacji torów prądowych jest naturalną ewolucją zagadnień badawczych jakie były podejmowane przez wnioskodawcę w czasie realizacji pracy doktorskiej poświęconej analizie i optymalizacji transformatora wysokiej częstotliwości przeznaczonego do energoelektroniki. Rozszerzenie problematyki przekształcania energii w transformatorze i jej analiza w nieco szerszym ujęciu, jako toru prądowego zaowocowała opisywanym tutaj cyklem badawczym.

Analizowane w niniejszym opracowaniu złożone tory prądowe podzielono na trzy zasadnicze grupy:

- tory prądowe, wykonane z technologicznie złożonych materiałów nadprzewodnikowych, przeznaczone do przesyłu (przewody nadprzewodnikowe) i przetwarzania energii elektrycznej (transformatory i maszyny nadprzewodnikowe),
- złożone pod względem struktury tory to bezprzewodowego przesyłu energii elektrycznej, w tym w zastosowaniach medycznych (na przykładzie toru zasilania protezy serca i pompy krwi),
- tory prądowe przeznaczane do przetwarzania parametrów energii na potrzeby procesów technologicznych (na przykładzie toru zasilania zgrzewarki rezystancyjnej prądu stałego).

Badania prowadzono w celu maksymalizacji sprawności i gęstości mocy torów prądowych bazując na analizie numerycznej (głównie metodą elementów skończonych) oraz badaniach eksperymentalnych. Wszystkie zrealizowane prace, których wyniki przedstawiono między innymi w 12 publikacjach wchodzących w skład osiągnięcia naukowego (indeksowanych w Web of Science), a także w licznych referatach konferencyjnych i czasopismach branżowych, były zorientowane na rozwój innowacyjnych technologicznie aplikacji przemysłowych, przez co ich pokłosiem było też powstanie opracowań o charakterze innowacyjnym, zarejestrowanych w UPRP w postaci patentów. Pięć (spośród dwunastu) patentów stanowi element opisywanego tutaj osiągnięcia naukowego wnioskodawcy.

Zagadnieniom analizy i optymalizacji pierwszej grupy torów prądowych, to jest torów z nadprzewodnikami poświęcone są publikacje [A1], [A5], [A6], [A7], [A9], [A11] i [A12]. Tory prądowe zawierające nadprzewodniki, ze względu na szereg korzystnych właściwości, stosowane są zarówno do transmisji energii (przewody i kable nadprzewodnikowe), jak i do jej przetwarzania (transformatory i silniki/generatory nadprzewodnikowe). Podjęcie tematyki optymalizacji torów prądowych z nadprzewodnikami było naturalną kontynuacją pracy doktorskiej wnioskodawcy, poświęconej optymalizacji transformatora energoelektronicznego, oraz jego udziału z realizacji projektu badawczego w ramach 6. Programu Ramowego Unii Europejskiej, gdzie uczestniczył w badaniach nad nadprzewodnikowym generatorem synchronicznym. Z połączenia tych dwóch zagadnień wykreowany został obszar badań poświęcony, podobnie jak w pracy doktorskiej, transformatorowi, ale tym razem z uzwojeniami nadprzewodnikowymi (idea struktury transformatora była przedmiotem współautorskiego zastrzeżenia patentowego wnioskodawcy, zgłoszonego jeszcze przed obroną doktoratu, a przyznanego już w okresie będącym przedmiotem niniejszego opracowania). Badania transformatora poświęcone były w szczególności optymalizacji jego struktury w celu maksymalizacji gęstości mocy. Stosując uzwojenia nadprzewodnikowe maksymalna wartość prądu transformatora zależy od prądu krytycznego nadprzewodnika, a ten z kolei zależy od zewnętrznego pola magnetycznego, przy czym jest to zależność zarówno od wartości jak i od kierunku pola magnetycznego. Zaproponowana struktura toroidalna transformatora pozwoliła na maksymalizację prądu krytycznego transformatora poprzez eliminację czół uzwojeń, występujących w przypadku uzwojenia w kształcie cylindrycznym. Drugi obszar optymalizacji transformatora to badania w zakresie materiału, gabarytów i usytuowania rdzenia magnetycznego. Odpowiedni dobór rdzenia magnetycznego wpływał zarówno na sprawność

transformatora, jak i na możliwą do osiągnięcia gęstość mocy. Wyniki badań ujmujących uzyskane docelowo właściwości transformatora przedstawiono w [A6].

Jak już wspomniano wcześniej uzyskanie wysokiej gęstości energii w nadprzewodnikowych torach prądowych (sprawność tych torów jest bardzo wysoka, ze względu na praktycznie niemierzalne straty mocy), wymaga wiedzy na temat prądu krytycznego nadprzewodnika. Parametr ten zależy od kilku czynników (w szczególności od temperatury pracy oraz wartości zewnętrznego pola magnetycznego), ale co szczególnie istotne, przekroczenie wartości prądu krytycznego powoduje gwałtowną utratę nadprzewodnictwa i przejście do stanu rezystywnego (zjawisko to znane jest w literaturze pod pojęciem quenchu). Przy braku kontroli quenchu może być on przyczyną destrukcji toru prądowego, czasem przybierającej znaczne rozmiary. Stąd też istotnym, podejmowanym przez wiele ośrodków badawczych zagadnieniem, jest charakteryzacja nadprzewodników pod względem ich przydatności do konstrukcji torów prądowych, polegająca na wyznaczaniu wartości prądu krytycznego i jego podatności na różne czynniki zewnętrzne. Parametry torów wyznaczane są zarówno na bazie modelowania numerycznego, jak i eksperymentów. W ramach badań prowadzonych przez wnioskodawcę, podejmowane były prace zarówno w zakresie modelowania numerycznego nadprzewodników, jak i ich charakteryzacji pomiarowej.

Jednym z kluczowych zagadnień badawczych podejmowanych przez wnioskodawcę było zjawisko utraty nadprzewodnictwa i propagacji strefy rezystywnej. Do analizy tego zagadnienia wnioskodawca stosował modele numeryczne bazujące na metodzie elementów skończonych (MES). W oparciu o język skryptowy APDL oprogramowania ANSYS (ANSYS Parametric Design Language) opracowane zostały innowacyjne, wydajne modele numeryczne MES, wykorzystujące zmienność rezystancji strefy nadprzewodnikowej. Zastosowanie modeli sprzężonych elektryczno-cieplnych pozwoliło na pełną analizę zjawiska quenchu i propagacji strefy rezystywnej zarówno w przewodach niskotemperaturowych, jak i w taśmach nadprzewodnikowych HTS. Zagadnienia te zostały przez wnioskodawcę opisane w [A1], zarówno w zakresie modelowania przewodu niskotemperaturowego NbTi, jak i taśm wysokotemperaturowych HTS.

Modele numeryczne nadprzewodnikowych torów prądowych pozwalają na wyznaczenie wielu istotnych parametrów nadprzewodników oraz ich analizę numeryczną na potrzeby konstruowania torów złożonych, w szczególności w zakresie ich parametrów krytycznych. Opracowanie wydajnych i wiarygodnych modeli numerycznych wymaga jednak ich wieloaspektowej walidacji eksperymentalnej, a często też pomiarowego pozyskiwania danych wejściowych do modelu. Bardzo istotna jest więc charakteryzacja pomiarowa nadprzewodników. Wnioskodawca w swoich badaniach prowadził prace eksperymentalne w zakresie wymaganym dla walidacji modeli numerycznych (na potrzeby badań eksperymentalnych współtworzył Laboratorium Nadprzewodnictwa funkcjonujące w Katedrze Energoelektroniki, Napędu Elektrycznego i Robotyki Politechniki Śląskiej). Jednym z bardziej istotnych obszarów badań w zakresie charakteryzacji pomiarowej nadprzewodników były badania w zakresie strat mocy w taśmach nadprzewodnikowych generowanych przez prąd odkształcony niesinusoidalny, czyli taki jaki może zostać wytworzony poprzez energoelektroniczne systemy zasilające (przykładem prądu o takim kształcie może być prąd

cewki w regulatorze impulsowym napięcia stałego, czy też prąd zasilanej impulsowo cewki nadprzewodnikowej gromadzącej energię). Opracowane stanowisko laboratoryjne do badania (charakteryzacji) nadprzewodnikowych torów prądowych prądu przemiennego oraz wyniki pomiarów dla prądów o kształcie sinusoidalnym oraz trójkątnym przedstawiono w [A7]. Charakteryzacja pomiarowa nadprzewodnikowych torów prądowych wymaga często aparatury o nietypowych parametrach, dopasowanej do oczekiwanych warunków pomiarowych. Wiąże się to z koniecznością konstrukcji własnych elementów systemu pomiarowo-zasilającego. Przykładem urządzenia skonstruowanego do dedykowanego stanowiska pomiarowego jest hybrydowy wysokoprądowy system zasilający opisany w [A5]. Ten autorski system zasilający wykonany został z zasilacza programowalnego dużej mocy o prądzie wyjściowym 200 A (a przy połączeniu równoległym nawet 400 A) połączonego z transformatorem prądowym o prądzie wyjściowym do 560 A. Tak skonstruowane źródło pozwalało na badania nadprzewodników w szerokim zakresie prądów roboczych oraz o złożonych przebiegach (w szczególności odzwierciedlających pracę nadprzewodnika zasilanego prądem stałym ze składową zmienną o znacznej wartości).

Bardzo istotnym elementem badań nadprzewodnikowych torów prądowych w zakresie charakteryzacji pomiarowej nadprzewodników są badania zrealizowane przez wnioskodawcę we współpracy z Instytutem Fizyki Technicznej Karsluhe Institute of Technology, który jest wiodącym ośrodkiem w Europie w zakresie badań nadprzewodników. Opisane w [A9] i [A12] badania, prowadzone w dość licznym międzynarodowym zespole, poświęcone były charakteryzacji pomiarowej nadprzewodników pod względem możliwej do osiągnięcia wartości prądu krytycznego oraz zdefiniowania, opartych na wynikach pomiarowych, wydajnych modeli numerycznych nadprzewodników (w szczególności taśm nadprzewodnikowych drugiego rodzaju) w aspekcie ich zastosowania na uzwojenia elektromagnesów. Metody wytwarzania nadprzewodników oraz ich struktura krystaliczna sprawiają, że ich właściwości silnie zależą od orientacji przewodu względem zewnętrznego pola magnetycznego, a także mogą zmieniać się wzdłuż taśmy (np. na skutek nawet nieznacznej zmiany grubości warstwy nadprzewodnikowej lub zanieczyszczeń struktury). Dlatego tak istotnym elementem badań torów prądowych z nadprzewodnikami są badania zależności prądu krytycznego w funkcji usytuowania nadprzewodnika względem zewnętrznego pola magnetycznego i jego jednorodności.

Podobną formę badań, prowadzonych przez wnioskodawcę we współpracy z ośrodkiem zagranicznym, mają badania w zakresie nadprzewodników masywnych. Badania opisane w [A11], skupione głównie na analizie koncepcyjnej są przykładem szerszych badań, w znacznej części jeszcze niepublikowanych, w zakresie możliwości stosowania nadprzewodników masywnych w maszynach elektrycznych oraz układach zawieszenia elektromagnetycznego (w tym zakresie wnioskodawca jest współautorem prototypowego rozwiązania silnika fotowoltaicznego z zawieszeniem nadprzewodnikowym, stanowiącego element stanowiska demonstracyjnego w Laboratorium Nadprzewodnictwa Politechniki Śląskiej). Nadprzewodnikowe tory prądowe, włącznie z torami z nadprzewodników masywnych, są przykładem grupy urządzeń wykazujących dobre właściwości w zakresie transportu i przetwarzania prądu stałego oraz w niektórych zastosowaniach prądu przemiennego o

częstotliwości sieciowej. Ich właściwości są niekorzystne przy przewodzeniu prądu przemiennego powyżej częstotliwości sieciowej.

Przykładem torów prądowych pracujących w zakresie prądu przemiennego o znacznej częstotliwości są układy transformatorów i cewek sprzężonych do bezprzewodowej transmisji energii. Stanowią one istotny obszar badań wnioskodawcy, opisany na przykładzie systemu do bezprzewodowego zasilania protezy serca w [A2], [A3] i [A4] oraz będące przedmiotem patentu [P5]. Badania te były częścią projektu badawczego w ramach Rządowego Programu Wieloletniego na lata 2007-2011 pt. Polskie Sztuczne Serce, realizowanego we współpracy z Instytutem Techniki i Aparatury Medycznej oraz Fundacją Rozwoju Kardiochirurgii im. prof. Zbigniewa Religi, w którym wnioskodawca był jednym z głównych wykonawców.

Zasilanie protezy serca w sposób przewodowy jest metodą niekorzystną, bo wywołującą liczne zagrożenia infekcyjne dla pacjenta. Dlatego też dostarczenie energii do systemu sztucznego serca powinno się odbywać w sposób bezprzewodowy przez skórę. Energia wymagana do dostarczenia nie jest duża (układ pobiera moc rzędu kilkudziesięciu watów), ale wymagania dotyczące energii rozpraszanej w postaci strat oraz stabilności układu zasilania są bardzo restrykcyjne. Wynika to między innymi z na maksymalnej temperatury, jaką może osiągać ciało ludzkie w kontakcie z urządzeniami wspomagającymi. Badania opisane w [A4] (których wynikiem jest zastrzeżenie patentowe [P5]), poświęcone były opracowaniu odpowiedniego złożonego toru prądowego przeznaczonego do transmisji energii o wymaganej sprawności oraz mocy, a także analiza rozwiązań zapewniających minimalizację strat (między innymi poprzez miękką komutację diod prostownika wewnętrznego). Oprócz prostownika wewnętrznego, największym źródłem strat mocy w torze przetwarzania prądu wewnątrz ciała pacjenta jest cewka wewnętrzna. Zagadnienie optymalizacji cewki, doboru przewodu oraz ułożenia zwojów jest procesem niezwykle złożonym i wielokryterialnym. Wyniki badań numerycznych układu cewek sprzężonych wraz z optymalizacją i weryfikacją pomiarową opisano w [A2].

Głównym elementem sztucznego serca, a jednocześnie ostatnim elementem toru prądowego zasilania protezy serca jest pompa krwi. Podobnie, jak cały tor prądowy, również pompa musi charakteryzować się wysoką sprawnością, niezawodnością, a jednocześnie spełniać wyrafinowane wymagania dotyczące jej właściwości mechanicznych. Jednym z bardziej istotnych zaleceń w konstrukcji takich pomp jest eliminacja łożysk mechanicznych wywołujących destrukcję struktury krwi. Zastosowanie łożysk magnetycznych pozwala na wyeliminowanie tego problemu, ale ze względu na kompaktowe wymiary pompy łożyska magnetyczne bardzo łatwo wchodzą w interakcję w układem napędowym. Dlatego też konieczna jest równoczesna analiza układu napędowego i układu zawieszenia magnetycznego. Takie badania, gdzie zaproponowano strukturę pompy, przeprowadzono numeryczną analizę optymalizacyjną oraz skonstruowano prosty prototyp weryfikujący przyjęte założenia opisane zostały w [A3]. Konstrukcja pompy stanowiła element domykający cykl badań w zakresie całości toru prądowego zasilania sztucznego serca.

Całkowicie odrębną grupę złożonych torów prądowych o bardzo dużym potencjale zastosowań przemysłowych, stanowią tory prądowe stosowane w procesie zgrzewania rezystancyjnego. Współczesne systemy zgrzewania rezystancyjnego są systemami z wyjściowym prądem stałym

(o znacznej wartości – rzędu kA), ale zawierają tor przetwarzania prądu o podwyższonej częstotliwości. Łączą zatem pewne cechy torów prądu stałego, podobne do tych, które występowały w torach z nadprzewodnikami oraz torów prądu przemiennego, opisanych na przykładzie toru zasilania sztucznego serca. Badaniom torów prądowych w układach zgrzewarek rezystancyjnych poświęcone zostały publikacje [A8] i [A10], a wynikiem badań prowadzonych głównie w trakcie realizacji projektu Programu Badań Stosowanych we współpracy z Instytutem Spawalnictwa były zgłoszenia patentowe [P1] – [P4].

Przedmiotem analizy i optymalizacji w strukturze zgrzewarki rezystancyjnej był tor prądowy o strukturze opisanej patentem [P3]. Tor prądowy zawiera przemiennik częstotliwości (z częstotliwości sieciowej na częstotliwość podwyższoną), transformator podwyższający prąd, prostownik wyjściowy oraz ramiona zgrzewarki wraz z elektrodami. Badania wnioskodawcy skupiały się w zakresie toru prądowego na dwóch zasadniczych obszarach, to jest na analizie i optymalizacji transformatora (pracującego z częstotliwością 10 kHz) oraz optymalizacji kształtu i struktury obwodu wyjściowego ramion i elektrod. Pierwszemu z tych zagadnień poświęcone były badania, które zaowocowały opracowaniem kilku nowatorskich struktur transformatora, między innymi struktury będącej przedmiotem patentu [P1]. Badania optymalizacyjne oraz testy technologiczne wykazały w rezultacie, że najlepszym rozwiązaniem w tym zastosowaniu jest transformator o strukturze planarnej, który łącznie z pozostałymi elementami toru prądowego zgrzewarki został wystawiony na Geneva Invention w 2017 r., gdzie został nagrodzony srebrnym medalem.

Odrębnym zagadnieniem podejmowanym przez wnioskodawcę przy okazji badań toru prądowego zgrzewarki był sposób sterowania siłą docisku elektrod. Jest to jeden z najważniejszych (oprócz prądu i czasu zgrzewania) parametrów wpływających na jakość procesu zgrzewania. Analizowany był zarówno docisk serwomechaniczny, opisany w [A10], [P4], jak i elektromagnetyczny [A8], [P2]. Obecnie najczęściej stosowaną metodą docisku w zgrzewarkach rezystancyjnych (już istniejących) jest docisk pneumatyczny. Ze względu na szereg wad, jest on w nowych urządzeniach zastępowany dociskiem sterowanym elektrycznie. Docisk serwomechaniczny jest jedną z najczęściej rozwijanych metod generowania siły docisku. Jest to jednak sterowanie, które ze względu na element wykonawczy wymaga dość złożonych zabiegów technologicznych. Dlatego ciekawą alternatywą dla takiego sterowania wydaje się być sterowanie elektromagnetyczne. Wadą elektromagnesów jest jednak mocno nieliniowa charakterystyka siły w funkcji długości szczeliny powietrznej w obwodzie magnetycznym. Prowadzone przez wnioskodawcę badania miały na celu opracowanie rozwiązania, w którym możliwe będzie znaczne przemieszczenie elementów elektromagnesu wpływające na zmianę długości szczeliny przy jednoczesnym utrzymaniu małych zmian wartości wytwarzanej siły docisku. Efektem tych prac było opracowanie rozwiązania będącego przedmiotem patentu i nazwanego kaskadą elektromagnetyczną [P2]. Przeprowadzono także badania mające na celu ustalenie, czy możliwe jest zastosowanie w elektromagnesach uzwojeń nadprzewodnikowych, pozwalających na znaczne podwyższenie energii elektromagnesu [A8].

Przedstawione publikacje obejmują wyłącznie prace indeksowane w bazie Web of Science. Opisane tu badania, będące przedmiotem osiągnięcia naukowego wnioskodawcy, były też szeroko publikowane na licznych konferencjach branżowych i w lokalnych czasopismach. O

istotnym znaczeniu prowadzonych badań świadczy udział wnioskodawcy w licznych zespołach badawczych (podczas realizacji 10 projektów badawczych), współpraca z przedsiębiorstwami w zakresie prac badawczo-rozwojowych oraz aktywność w renomowanych inicjatywach naukowych i badawczo-rozwojowych (między innymi członkostwo w European Society of Applied Superconductivity oraz aktywność w Zarządzie Chapter Magnetics Polskiej Sekcji IEEE). Aktywność ta jest akceleratorem bieżącej działalności naukowej wnioskodawcy, realizowanej w dużej mierze we współpracy międzynarodowej oraz we współpracy z przemysłem.

Wyniki badań i ich zastosowanie praktyczne

Analiza i optymalizacja złożonych torów prądowych, zróżnicowanych konstrukcyjnie i funkcjonalnie, prowadzona była przez wnioskodawcę zawsze pod kątem zastosowań przemysłowych takich torów. Zastosowania przemysłowe rozważane były zasadniczo w dwóch aspektach: potencjalnych zastosowań o określonych parametrach (tak jak w większości przypadków torów prądowych z nadprzewodnikami) albo też precyzyjnie określonych zastosowań przemysłowych (takich, jak na przykład tor przetwarzania energii w zgrzewarce rezystancyjnej). Zdefiniowanie zastosowań przemysłowych analizowanych torów prądowych pozwalało na określenie stawianych im wymagań, a tym samych celów badań oczekiwanych do osiągnięcia. Cele badań to nie tylko urządzenia i systemy zawierające tory prądowe o określonych parametrach, ale także narzędzia do analizy i optymalizacji torów, pozwalające na identyfikację parametrów torów, modelowanie oraz optymalizację wybranych struktur (i umożliwiające dalej realizację złożonych procesów optymalizacyjnych realizowanych znacznie niższym kosztem, niż pełne badania laboratoryjne na prototypach).

Wyniki badań jakie uzyskano dla torów prądowych zawierających nadprzewodniki należy podzielić na dwie zasadnicze grupy, to jest wyniki dotyczące analizy modeli numerycznych torów nadprzewodnikowych oraz wyniki dotyczące badań eksperymentalnych i weryfikacyjnych, zarówno w odniesieniu do przewodów (torów transmisji energii), jak i urządzeń (torów przetwarzania energii).

Jednym z kluczowych osiągnięć wnioskodawcy w zakresie modelowania torów prądowych z nadprzewodnikami było opracowanie funkcjonalnych modeli numerycznych torów prądowych z nadprzewodnikami, przeznaczonych do analizy interdyscyplinarnej uwzględniającej interakcję zjawisk elektromagnetycznych ze zjawiskami cieplnymi. Modele przeznaczone do analizy numerycznej metodą elementów skończonych (MES) opracowane zostały bazując na języku programowania APDL (ANSYS Parametric Design Language). Jest on językiem dedykowanym do obliczeń w środowisku ANSYS, stanowiącym jedno z najczęściej stosowanych w obliczeniach komercyjnych narzędzie do analizy MES. Wykorzystanie algorytmów APDL pozwoliło na opracowanie modeli uwzględniających pewne istotne zjawiska występujące w nadprzewodnikach (między innymi bezpośrednią zależności rezystywności nadprzewodnika od temperatury i składowych pola magnetycznego). Zastosowanie modelowania ANSYS dawało pod tym względem szersze możliwości od najczęściej stosowanego w modelowaniu zjawisk nadprzewodnictwa oprogramowania COMSOL. Wnioskodawca w swoich badaniach zaproponował zarówno modele 3D (które ze

względu na możliwości obliczeniowe dawały wyniki o charakterze bardziej poglądowym), jak i 2D. Istotnym osiągnięciem było przeprowadzenie analizy propagacji strefy rezystywnej na bazie modelowania MES 2D [A1]. Wnioskodawca zaproponował modele 2D osiowosymetryczne dla niskotemperaturowych przewodów okrągłych NbTi oraz modele planarne dla taśm HTS (zarówno pierwszej, jak i drugiej generacji). W przypadku taśm HTS zastosowanie modeli planarnych było możliwe dzięki znacznemu stosunkowi (rzędu kilkudziesięciu) szerokości taśmy do jej wysokości. Istotnym problemem rozwiązanym przez wnioskodawcę w badaniach dotyczących modelowania MES torów nadprzewodnikowych było opracowanie algorytmów redukujących fluktuacje gęstości prądu w nadprzewodniku, wynikające ze skokowych zmian rezystancji nadprzewodnika (skończona gęstość siatki MES w modelach numerycznych jest przyczyną powstawania skokowych zmian wielkości fizycznych). Uwzględnienie tych algorytmów pozwoliło na uzyskanie przebiegów prądu i napięcia na zaciskach nadprzewodnika o kształcie lepiej odzwierciedlającym przebiegi rzeczywiste.

Badania w zakresie pomiarowej charakteryzacji nadprzewodników prowadzone były przez wnioskodawcę w większości w Laboratorium Nadprzewodnictwa, którego był współtwórcą. Główne obszary badań w zakresie charakteryzacji obejmowały badania taśm nadprzewodnikowych HTS pierwszej i drugiej generacji dla obciążeń prądami różnego rodzaju. Badania nadprzewodnikowych torów prądowych obciążonych prądem stałym oraz prądem sinusoidalnie zmiennym prowadzone były głównie w celu weryfikacji eksperymentalnej badań w zakresie modelowania numerycznego. Obszerny obszar badań prowadzonych przez wnioskodawcę obejmowały badania charakteryzujące nadprzewodniki przewodzące prąd odkształcony (niesinusoidalny oraz sinusoidalny ze składową stałą). Nadprzewodnikowe tory prądowe są bardzo często obciążane tego typu przebiegami prądu przy zasilaniu poprzez energoelektroniczne układy pośredniczące. Wnioskodawca prowadził zarówno charakteryzację taśm HTS [A7], jak i opracowywał wymaganą w tym celu aparaturę pomiarową i zasilającą [A5]. Zatem jako istotne w zakresie analizy torów prądowych należy uznać zarówno wyniki pomiarów, jak i opracowane dedykowane stanowiska badawcze. Uzyskane wyniki wskazują, że nadprzewodniki wykazują podobne właściwości zarówno w zakresie przebiegów sinusoidalnych, jak i odkształconych, ale bardzo szybko tracą swoje dobre właściwości wraz ze wzrostem częstotliwości przy prądach przemiennych. Nadprzewodnikowe tory prądowe wykazują bardzo dobre właściwości w przypadku przewodzenia prądów stałych ze składową zmienną (zarówno sinusoidalną, jak i odkształconą), możliwe jest zatem stosowanie urządzeń energoelektronicznych do zasilania uzwojeń nadprzewodnikowych (w szczególności jako magazynów energii) prądem stałym ze składową zmienną.

Niektóre badania w zakresie charakteryzacji nadprzewodnikowych torów prądowych, zarówno taśm jak i nadprzewodników masywnych, wymagają dysponowania znacznie bardziej rozbudowaną aparaturą badawczą, zarówno zasilającą, jak i pomiarową niż ta, którą dysponuje wnioskodawca w utworzonym w swojej jednostce laboratorium. Prowadzenie takich badań jest jednak niezbędne w celu pełnego scharakteryzowania właściwości nadprzewodników pod względem przydatności do konstruowania złożonych torów prądowych i ich stosowania w różnego typu aplikacjach. Stąd ważnym elementem badań wnioskodawcy są badania

prowadzone we współpracy z zagranicznymi podmiotami naukowymi, dysponującymi znacznie bardziej zaawansowaną aparaturą laboratoryjną. W ramach tych badań, prowadzonych w sposób ciągły od kilku lat, dotychczas zrealizowano między innymi pełną charakteryzację pomiarową nadprzewodników znajdujących się w zewnętrznym polu magnetycznym [A9], gdzie wykazano niesymetrię prądu krytycznego taśm (inna wartość dla ułożenia 90 stopni i ułożenia 270 stopni) oraz opracowano modele wyznaczania zależności kątowej nadprzewodników na podstawie pomiarów zaciskowych napięcia i prądu nadprzewodnika. Innym fragmentem badań w zakresie charakteryzacji było wyznaczenie jednorodności taśmy względem jej długości [A12]. Badania te wykazały, że największy rozrzut wyników (największą niejednorodność) nadprzewodniki wykazują dla ułożenia taśmy odpowiadającego najwyższym wartościom prądu krytycznego (kąty 90 i 270 stopni). Jest ona też funkcją wartości zewnętrznego pola magnetycznego.

Bardzo ważnym osiągnięciem wnioskodawcy było opracowanie struktury transformatora nadprzewodnikowego z uzwojeniami w kształcie helisy. Celem badań tego złożonego toru prądowego, podobnie jak w przypadku badań wszystkich innych struktur, prowadzonych przez wnioskodawcę, była optymalizacja struktury pod względem sprawności i gęstości energii. Transformator był przedmiotem współautorskiego rozwiązania patentowego zgłoszonego przez wnioskodawcę oraz przedmiotem szczegółowych prac badawczych. Podstawowym celem badań było znalezienie rozwiązania transformatora z uzwojeniem nadprzewodnikowym o zmaksymalizowanym prądzie krytycznym nadprzewodnika (a tym samym o najwyższej gęstości energii). Wynikiem tych badań był transformator o uzwojeniu toroidalnym. Badania numeryczne wskazywały na korzystne właściwości uzwojenia w kształcie helisy. Weryfikacja poprzez badania eksperymentalne wskazała jednak na zasadność opracowania struktury z uzwojeniem prostopadłym od osi głównej toroidu [A6]. Oprócz badań w zakresie uzwojenia nadprzewodnikowego przeprowadzono kompleksowe badania w zakresie rdzenia magnetycznego transformatora. Wykazano, że zastosowanie rdzenia z materiału amorficznego pozwala na znaczne zredukowanie strat mocy (prawie dziesięciokrotnie w porównaniu do klasycznego rdzenia z blachy krzemowej) oraz, że możliwa jest eksploatacja transformatora z tak zwanym rdzeniem zimnym (zanurzonym w cieczy kriogenicznej). Pogorszenie właściwości magnetycznych rdzenia amorficznego wynikające z obniżenia jego temperatury do temperatury ciekłego azotu było znacznie mniejsze niż ma to miejsce dla blachy krzemowej. Możliwe było zatem usytuowanie rdzenia znacznie bliżej uzwojeń (usunięcie izolacji cieplnej z przestrzeni między uzwojeniami a rdzeniem magnetycznym) i uzyskanie lepszego sprzężenia magnetycznego uzwojeń.

Badania w zakresie torów prądowych z nadprzewodnikami prowadzone były także dla maszyn elektrycznych [A11]. Przedmiotem analizy była w tym przypadku optymalizacja usytuowania nadprzewodników stanowiących źródło pola magnetycznego na wirniku maszyny. Optymalizacja prowadzona była w oparciu o modelowanie numeryczne oraz wybrane badania pomiarowe. Badania te są w trakcie intensywnego rozwoju.

Wyniki badań uzyskane w zakresie modelowania numerycznego i badań eksperymentalnych dla torów prądowych w urządzeniach nadprzewodnikowych (transformatory, maszyny elektryczne, elektromagnesy) mają szczególnie istotne znacznie ze względu na duży potencjał

zastosowań przemysłowych takich urządzeń (oprócz badań opisanych w [A11] wnioskodawca był też członkiem zespołu realizującego badania w projekcie w ramach 6. PR UE dotyczącego opracowania nadprzewodnikowego generatora synchronicznego dedykowanego do zastosowań przemysłowych - hydroelektrowni).

Bardzo ważne znaczenie praktyczne miały badania prowadzone przez wnioskodawcę w zakresie optymalizacji bezprzewodowych torów prądowych do zastosowań w medycynie. W ramach badań wnioskodawca był współautorem, będącego przedmiotem zastrzeżenia patentowego [P5] rozwiązania bezprzewodowego systemu transmisji energii do zasilania sztucznego serca. Bardzo ważnym osiągnięciem w ramach opatentowanego systemu była stabilizacja napięcia strony wtórnej systemu (pozostającej wewnątrz ciała pacjenta) na podstawie parametrów strony pierwotnej transformatora. Rozwiązanie takie umożliwiało eliminację uciążliwych w instalacji i będących dodatkowym źródłem strat mocy elementów pomiarowo-transmisyjnych.

Zaprojektowany w ramach patentu system transmisji energii poddany był szczegółowym badaniom analitycznym i laboratoryjnym [A4]. Układ transmisji bazował na falowniku miękkoprzełączalnym wysokiej częstotliwości, transformatorze planarnym, układzie prostowniczym, układzie magazynowania energii oraz układzie napędowym. Odpowiedni dobór elementów systemu zapewniał minimalizację strat mocy i niezawodność układu. Należy tu zwrócić uwagę na zaproponowany sposób wykonania systemu magazynowania energii. Składał się on z dwóch baterii: zewnętrznej i wewnętrznej. Pierwsza z nich zapewniała możliwość zasilnia układu przez dłuższy czas, przez co system nie wymagał trwałego kontaktu z siecią elektryczną. Na ten cel dwie baterie stosowane były zamiennie: w czasie pracy jednej baterii ładowana była druga. Bateria wewnętrzna była baterią krótkoterminową zapewniającą zasilanie układu w przypadku odłączenia systemu zewnętrznego (np. na czas zabiegów higienicznych). Była ona mniejsza i przewidziana na cały czas pracy systemu (około pół roku).

Oprócz badań ogólnej koncepcji układu transmisji wnioskodawca prowadził złożone badania w zakresie optymalizacji transformatora planarnego, jako szczególnie istotnego elementu toru prądowego oraz badania zawieszenia elektromagnetycznego pompy krwi. W badaniach transformatora [A2] określona została maksymalna częstotliwości z jaką powinien pracować transformator oraz jak powinny być rozłożone zwoje transformatora (w tym średnice wewnętrzne i zewnętrzne uzwojeń transformatora), aby uzyskać maksymalną gęstość energii przy określonym poziomie strat mocy (wynikającym z dopuszczalnego przyrostu temperatury transformatora). Zaproponowana została również autorska metoda analizy właściwości przewodów typu Litz na bazie modeli MES 2D.

Badania nad torem bezprzewodowej transmisji energii do zasilania sztucznego serca obejmowały także badania samego elementu napędowego – specjalistycznej pompy krwi z zawieszeniem elektromagnetycznym [A3]. Zastosowanie zawieszenia magnetycznego pompy krwi spowodowane było wymogiem eliminacji negatywnego wpływu łożysk mechanicznych na strukturę pompowanej krwi. Łożyska magnetyczne wymagają jednak dodatkowej stabilizacji, dlatego najlepszym byłoby zastosowanie łożyska elektromagnetycznego (ze stabilizacją elektromagnetyczną). Rozwiązanie takie wymaga niestety zaawansowanego

systemu sterowania i jest źródłem dodatkowych strat mocy. Dlatego zdecydowano się na przeprowadzenie badań w zakresie sił występujących w łożysku magnetycznym (złożonym z dwóch zespołów magnesów trwałych) oraz określenie możliwości stabilizacji układu lewitacyjnego poprzez oddziaływanie hydrodynamiczne płynu (krwi) na łożysko. Przeprowadzone badania wykazały możliwość wykonania pompy w założonym zakresie gabarytów. Zaproponowano sposób usytuowania łożyska magnetycznego i jednocześnie zaproponowano strukturę napędową pompy krwi na bazie silnika BLDC.

Opracowany system transmisji energii wykonany został w postaci prototypu laboratoryjnego i przekazany do dalszych badań przez partnerów specjalizujących się w tematyce biomedycznej, to jest Instytut Techniki i Aparatury Medycznej oraz Fundację Rozwoju Kardiochirurgii im. Prof. Zbigniewa Religi. Badania w zakresie bezprzewodowych torów transmisji energii były przedmiotem badań prowadzonych przez wnioskodawcę również w mniejszym stopniu w innych układach przemysłowych.

Badania poświęcone torom prądowym w układach zgrzewania rezystancyjnego miały ten sam cel główny co pozostałe, wcześniej opisane systemy, poddawane badaniom przez wnioskodawcę. Celem tym była optymalizacja struktury pod względem sprawności i gęstości mocy. Tory prądowe będące przedmiotem analizy dedykowane były do zgrzewarek rezystancyjnych punktowych, stosowanych w szerokim spektrum aplikacji przemysłowych, między innymi w przemyśle motoryzacyjnym. Wykonanie pojedynczego połączenia zgrzewanego nie generuje znacznego kosztu, zatem optymalizacja takiego układu nie byłaby ekonomicznie uzasadniona. Zgrzewanie rezystancyjne jest jednak procesem realizowanym na bardzo dużą skalę. Przykładowo wykonanie karoserii samochodu osobowego wymaga wykonania nawet kilku tysięcy zgrzein. Stąd bardzo istotna jest optymalizacja procesu pod względem ekonomicznym. Drugim istotnym aspektem jest jakość wykonywanego połączenia, które musi gwarantować określone parametry mechaniczne. Wykonanie dobrego jakościowo złącza wymaga bardzo precyzyjnej kontroli parametrów procesu, czyli czasu zgrzewania, prądu zgrzewania i siły docisku. Badania poświęcone kontroli parametrów procesu stanowią drugi element badań prowadzony przez wnioskodawcę w zakresie torów prądowych zgrzewarek rezystancyjnych, prowadzonych we współpracy z Instytutem Spawalnictwa.

Współczesne trendy w technologii zgrzewania punktowego nakierowane są na zastąpienie zgrzewarek rezystancyjnych prądu przemiennego (z regulatorami tyrystorowymi napięcia) zgrzewarkami prądu stałego, w których prąd przemienny (o częstotliwości sieciowej) przekształcany jest prąd o podwyższonej częstotliwości (dotychczas najczęściej 1 kHz), następnie transformowany do wartości prądu wymaganej w procesie zgrzewania i w ostatnim kroku przekształcany na prąd stały. Taki proces charakteryzuje się nieco wyższymi stratami mocy niż dla zgrzewarki prądu przemiennego (bardziej złożony proces przekształcania energii oraz znaczne straty mocy w prostowniku wyjściowym), ale pozwala na uzyskiwanie przy prądzie stałym lepszej jakości zgrzein oraz na znacznie lepsze sterowanie procesem zgrzewania. W ramach badań prowadzonych przez wnioskodawcę, w dużej części stanowiących część projektu badawczego w ramach Programu Badań Stosowanych NCBiR, wyznaczono rozkład strat mocy w poszczególnych elementach toru prądowego zgrzewarki oraz zdefiniowano możliwości redukcji strat mocy oraz podwyższenia gęstości energii [A10].

Pierwszym z zasadniczych zabiegów było zdefiniowanie bazowej struktury zgrzewarki o podwyższonej (względem najczęściej stosowanej) częstotliwości [P3], dla której przeprowadzono badania symulacyjne strat mocy oraz analizę technologiczną możliwości wykonania (w szczególności w zakresie sposobu wykonania połączeń pomiędzy poszczególnymi elementami toru prądowego, kluczowego dla uzyskania wysokiej sprawności). Wskazano, że przy podwyższonej częstotliwości zasadniczym elementem toru przekształcania prądu wpływającym na maksymalizację energii jest transformator. Zaproponowano kilka rozwiązań transformatora spełniającego wymagania toru przekształcania prądu, między innymi transformator koncentryczny, będący przedmiotem zastrzeżenia patentowego [P1] oraz transformator planarny. Transformatory będące przedmiotem analizy i optymalizacji były transformatorami z uzwojeniem wtórnym dzielonym i ułożeniem uzwojeń zapewniającym wysokie sprzężenie magnetyczne między uzwojeniami (w tym celu prowadzono między innymi analizę kształtu i materiału rdzenia magnetycznego). Dla obydwu konstrukcji przeprowadzone zostały szczegółowe analizy numeryczne właściwości oraz wykonane zostały transformatory prototypowe. Mimo uzyskanych w wyniku analizy numerycznej nieco lepszych właściwości transformatora koncentrycznego, aspekty technologiczne zdecydowały, że jako docelowy prototyp toru przekształcania prądu w zgrzewarce zastosowano transformator planarny. Podwyższenie częstotliwości pozwoliło na redukcję masy transformatora prawie czterokrotnie względem częstotliwości 1 kHz i prawie dziesięciokrotnie względem transformatora pracującego z częstotliwością sieciową. Podobnym proporcjom podlegała redukcja objętości. Nowatorstwo rozwiązania zarówno transformatora, jak i pozostałych elementów toru przekształcania prądu sprawiło, że wynalazek ten (będący przedmiotem kilku patentów) wystawiony został na Geneva Invention w 2017 roku, gdzie nagrodzono go srebrnym medalem. Zaproponowano również optymalizację ramion zgrzewarki umożliwiającą dalszą redukcję strat toru prądowego. Badania przeprowadzone w tym zakresie publikowane były, oprócz artykułów wskazanych jako osiągnięcie naukowe i mających charakter kamieni milowych, w formie artykułów i referatów na kluczowych konferencjach i targach branżowych między innymi w USA (American Welding Society) i Japonii.

Analiza i optymalizacja toru prądowego zgrzewarki nie dałaby oczekiwanego efektu w postaci poprawy jakości i wydajności ekonomicznej wykonywanych zgrzein bez analizy procesu sterowania, w szczególności sterowania siłą docisku (dotychczas proces sterowania docisku realizowany był najczęściej w układach pneumatycznych, które z wielu względów wymagają zastąpienia układami bardziej nowoczesnymi). W ramach badań poddano analizie dwa nowe typy sterowania siłą, to jest sterowanie serwomechaniczne oraz sterowanie elektromagnetyczne. W pierwszym z tych rozwiązań przedmiotem analizy była struktura (sposób) sterowania elementem wykonawczym (serwomechanizmem) oraz kontrola parametrów procesu. Opracowane współautorskie rozwiązanie, o dużym potencjale aplikacyjnym, było przedmiotem zgłoszenia patentowego [P4]. Głównym jego aspektem innowacyjnym było sterowanie nie tylko siłą docisku, ale także przemieszczeniem elektrod, co w procesie zgrzewania punktowego jest niezwykle istotne ze względu na zmianę plastyczności zgrzewanego materiału (szczegóły procesu zgrzewania i ich zależność od siły docisku i przemieszczenia elektrod były przedmiotem analizy przedstawionej w [A10]. Zaproponowane rozwiązanie ujmuje strukturę i algorytm sterowania odniesiony do przebiegu procesu

zgrzewania rezystancyjnego, z wyodrębnieniem poszczególnych faz procesu oraz wzajemnych relacji prądu, siły docisku i przemieszczenia elektrod jako funkcji czasu.

W badaniach prowadzonych na świecie w zakresie sterowania dociskiem elektrod w zgrzewaniu rezystancyjnym pojawił się ostatnio nowy trend polegający na sterowaniu tym procesem poprzez układ elektromagnetyczny. Badania w tym zakresie były również przedmiotem zainteresowań wnioskodawcy. W ramach badań nad złożonymi torami prądowymi przeprowadzone zostały prace w zakresie możliwości wytworzenia siły docisku poprzez system elektromagnetyczny. Wynikiem tych badań było między innymi zastrzeżenie patentowe [P2] poświęcone kaskadzie elektromagnesów. Układy elektromagnetyczne wykazują się dużą nieliniowością siły przyciągania względem długości szczeliny obwodu magnetycznego. Rozwiązanie będące przedmiotem wspomnianego patentu miało charakter układu modułowego, który poprzez odpowiednie sprzężenie mechaniczne pomiędzy modułami pozwalał na pracę w zakresie znacznie mniejszej szczeliny jednostkowej modułu (a tym samym mniejszą zmianę wartości siły oddziaływania) niż łączne przemieszczenie elektrody połączonej ze zworą układu elektromagnetycznego. Przeprowadzono również badania nad możliwością zastosowania w tym układzie uzwojenia nadprzewodnikowego, pozwalającego na znaczne zwiększenie siły wytwarzanej przez jednostkowy moduł elektromagnesu [A8]. Ze względu na właściwości dynamiczne oraz łatwość sterowania, elektromagnetyczne sterowanie dociskiem elektrod wydaje się być rozwiązaniem o dużym potencjale aplikacyjnym. Na chwilę obecną wymaga jednak badań nad właściwym opracowanie struktury mechanicznej układu elektromagnetycznego, w tym wytwarzania siły zwrotnej. Intensywne badania w tym zakresie prowadzone są przez liczne ośrodki światowe, między innymi Fraunhofer Institute for Material and Beam Technology z Drezna, z którym wnioskodawca prowadzi współpracę.

Opisane w tej części autoreferatu wyniki badań prowadzonych przez wnioskodawcę w zakresie analizy i optymalizacji różnego typu torów prądowych wykazują, że poprawa sprawności toru prądowego (a tym samym redukcja strat mocy) oraz maksymalizacja gęstości energii pozwalająca na miniaturyzację urządzeń zawierających analizowane tory prądowe są cechą wspólną wszystkich przedstawionych tutaj przykładów. Niezależnie zatem od złożoności toru prądowego oraz jego funkcji w urządzeniu (transmisja, przetwarzanie) wspólne są ich procesy optymalizacyjne. W badaniach przeprowadzonych przez wnioskodawcę wykazano również, że niezależnie od złożoności i rodzaju toru prądowego skuteczna optymalizacja jest możliwa bazując na prostej i dobrze znanej metodologii, to jest połączeniu modelowania numerycznego z badaniami eksperymentalnymi. Taka metodologia jest bardzo funkcjonalna w zastosowaniu do rozwiązywania zagadnień o charakterze inżyniersko-aplikacyjnym, a taki charakter miały w większości prace prowadzone przez wnioskodawcę.

Perspektywy dalszego rozwoju prac badawczych i ich znaczenie dla nauki i przemysłu

Badania prowadzone przez wnioskodawcę mają charakter badań kompleksowych, nakierowanych na rozwój elementów i systemów przekształcania energii elektrycznej do zastosowań w aplikacjach przemysłowych. Są to zatem badania długookresowe, dla których definiowane są sukcesywnie dalsze trendy rozwojowe, wynikające albo z uzyskanych we wcześniejszym etapie prac wyników, albo też z nowych oczekiwań wskazywanych przez

ośrodki przemysłowe, z którymi wnioskodawca współpracuje. Złożone tory prądowe będące przedmiotem badań wnioskodawcy są systemami o dużym potencjale aplikacyjnym, ale wciąż wymagają intensywnych prac badawczych. Stopień zaawansowania przemysłowego opisywanych torów jest różny w zależności od ich rodzaju, ale w każdym w przypadku badania są kontynuowane.

Najmniejszy stopień zaawansowania, ale i bardzo wielki potencjał na przyszłość wykazują tory prądowe z nadprzewodnikami. W niektórych przypadkach badania w tym zakresie mają niemal charakter badań podstawowych, przy czym działalność naukowa wnioskodawcy nakierowana jest na aplikacje nadprzewodnictwa w systemach elektrotechnicznych i energoelektronicznych, stąd badania mają charakter poszukiwania odpowiednich materiałów i struktur nadprzewodnikowych do takich zastosowań. Prowadzone obecnie prace nakierowane są głównie na maszyny elektryczne – wnioskodawca współpracuje w tym zakresie z Karlsruhe Institute of Technology (Instytut Fizyki Technicznej), Univesite de Lorraine (grupa badawcza elektroniki i elektrotechniki) oraz Tallinn University of Technology (Electrical Machine Group). W ramach tych zespołów prowadzone są badania nad materiałami i komponentami do maszyn elektrycznych, w szczególności do generatorów w zastosowaniach do produkcji energii odnawialnej. Należy zauważyć, że jest to bardzo ważny i perspektywiczny dział gospodarki, łączący w sobie rozwój nowych technologii połączony z zagadnieniami pro-ekologicznymi oraz polityką regionalną i globalną w zakresie produkcji energii elektrycznej.

Badania torów prądowych do bezprzewodowej transmisji energii zostały przedstawione przez wnioskodawcę w aspekcie zastosowań do zasilania protezy serca, czyli aplikacji biomedycznych. Zakres stosowania takich układów jest znacznie szerszy i ma olbrzymi potencjał aplikacyjny. Współcześnie najsilniejszym trendem rozwojowym w tym zakresie są układy zasilania pojazdów (czyli szeroko pojęte zagadnienia elektromobilności) oraz układy zasilania bezstykowego różnego rodzaju urządzeń powszechnego użytku. Badania w tym zakresie są dominującym kierunkiem działań prowadzonych w jednostce wnioskodawcy, również we współpracy z jednostkami przemysłowymi, a wnioskodawca jest członkiem zespołu pracującego nad projektem zasilanego bezprzewodowo pojazdu miejskiego typu PRT.

Bardzo istotnym oraz mocno oczekiwanym przez przemysł w zakresie nowych rozwiązań obszarem badań są tory prądowe zgrzewarek rezystancyjnych prądu stałego. W tym zakresie bardzo silny nacisk na rozwój technologii zgrzewania prądu stałego z kompaktowymi torami prądowymi (lekkimi i łatwymi do przemieszczenia) kładzie przemysł samochodowy. Nie dotyczy to jednak wyłącznie dużych koncernów, ale przede wszystkim różnego rodzaju firm świadczących usługi i dostarczających urządzenia dla przemysłu motoryzacyjnego. Badania podjęte przez wnioskodawcę kilka lat temu poprzez współpracę z Instytutem Spawalnictwa są wciąż rozwijane w różnych obszarach, głównie w zakresie podstawowego toru przetwarzania prądu. Kontynuowane są zarówno badania w zakresie nowych rozwiązań transformatorów podwyższających prąd, badania w zakresie optymalizacji toru silnoprądowego (ramion zgrzewarki i elektrod), jak również badania w zakresie sterowania dociskiem elektrod. O istotnym zapotrzebowaniu przemysłowym takich badań świadczy podjęta ostatnio współpraca wnioskodawcy z przedsiębiorcą przy realizacji projektu rozwojowego (finansowanego z NCBiR) nowej inteligentnej zgrzewarki kompaktowej, gdzie wnioskodawca pełni rolę

kierownika B+R. Przedmiotem zainteresowania przedsiębiorców, wskazującym na duże znaczenie prowadzonych badań dla nauki i przemysłu, jest również opracowany przez wnioskodawcę kaskadowy system docisku elektromagnetycznego, dla którego przygotowywane są obecnie stanowiska do testów prototypu, a rozwiązanie jest przedmiotem dalszych badań i rozwoju pod kątem praktycznego zastosowania w zgrzewarce.

Publikacje będące przedmiotem osiągnięcia naukowego wnioskodawcy obejmują prace indeksowane przez Web of Science, przy czym są to zarówno czasopisma naukowe jak i konferencje branżowe. Ze względu na mocno aplikacyjny charakter prowadzonych badań wnioskodawca często prezentuje wyniki badań na konferencjach branżowych, ponieważ trafiają one do bezpośrednich grup zainteresowanych i pozwalają na nawiązywanie współpracy i rozwijanie ich w sposób praktyczny. Poświadczeniem ważności podejmowanych przez wnioskodawcę badań jest stale rozwijana współpraca wnioskodawcy zarówno z kluczowymi ośrodkami naukowymi w Europie (w szczególności w zakresie torów prądowych z nadprzewodnikami) oraz rosnące zainteresowanie partnerów przemysłowych w zakresie innowacyjnych rozwiązań przemysłowych, których wnioskodawca jest współtwórcą.

5.Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo – badawczych wnioskodawcy

Badania stanowiące osiągnięcie naukowe wnioskodawcy, poparte wybranymi publikacjami indeksowanymi w Web of Science oraz patentami, stanowi wyłącznie oś główną działalności naukowo-badawczej wnioskodawcy realizowanej w Katedrze Energoelektroniki, Napędu Elektrycznego i Robotyki. Pełny zakres badań definiowany między innymi poprzez nazwę katedry obejmuje zastosowania elektrotechniczne nadprzewodnictwa, elementy i układy do przekształcania energii elektrycznej, w szczególności elementy indukcyjne i transformatory oraz prowadzone w szerokim zakresie, w tym w ujęciu interdyscyplinarnym modelowanie numeryczne MES elementów i systemów elektrotechnicznych. Łączny dorobek wnioskodawcy ujmujący wyniki badań obejmuje łącznie ponad 140 publikacji i 12 patentów. Dorobek naukowy z okresu analizowanego w autoreferacie, czyli po obronie pracy doktorskiej obejmuje ponad 100 publikacji, z tego 25 indeksowanych w WoS, 63 publikacje w innych czasopismach i materiałach konferencji naukowych, a także 10 patentów udzielonych przez UPRP (dwa z rozwiązań już wdrożone do przemysłu), kolejne w trakcie oraz prawie 50 wygłoszonych referatów konferencyjnych (w formie plenarnej i dialogowej).

Realizacja badań naukowych prowadzona jest przez wnioskodawcę w formie prac zespołowych. Wynika to z interdyscyplinarnego, aplikacyjnego charakteru prowadzonych badań, które wymagają zaangażowania zróżnicowanego zespołu osób o określonej specjalizacji badawczej. Badania te wnioskodawca realizował w formie 10 projektów badawczych, zarówno krajowych jak i międzynarodowych oraz kilkunastu prac badawczych zlecanych przez przemysł. Trzykrotnie, w projektach finansowanych przez MNiSW i NCN, był kierownikiem projektu (wnioskodawca ukończył dedykowany roczny kurs przygotowujący do pracy w charakterze kierownika projektów badawczych) oraz dwukrotnie był kierownikiem zespołu problemowego w ramach projektu. W ramach realizowanych prac badawczych i projektów współpracował z licznymi interdyscyplinarnymi zespołami naukowymi z ośrodków naukowych w kraju i zagranicą oraz przedsiębiorstwami.

Istotnymi badaniami, uzupełniającymi zasadniczy przedmiot osiągnięcia naukowego, czyli analizę i optymalizację torów prądowych, były prace badawcze między innymi w zakresie konstrukcji hydrogeneratora nadprzewodnikowego, badania nowych materiałów magnetycznych oraz badania w zakresie optymalizacji procesu odlewania ciągłego żeliwa. Badania w zakresie hydrogeneratora nadprzewodnikowego realizowane były w ramach 6 Programu Ramowego Unii Europejskiej. Wnioskodawca był koordynatorem zespołu projektowego, realizującego badania w zakresie systemów monitorowania parametrów uzwojenia nadprzewodnikowego, w tym badania właściwości głowicy czujnika próżni pracującego na wirniku hydrogeneratora (czyli narażonego na siły odśrodkowe) oraz badania systemów transmisji danych pomiarowych z wirnika maszyny do układu sterowania silnikiem zrealizowany w technologii Bluetooth. W ramach tego projektu wnioskodawca współpracował z kilkoma zagranicznymi ośrodkami badawczymi i przemysłowymi, będącymi członkami konsorcjum projektowego, między innymi Converteam (obecnie Alstom) oraz Oxford Instruments – obydwa z Wielkiej Brytanii, Stirling Cryogenics z Holandii oraz uczestniczył w kilku zagranicznych wyjazdach badawczych do partnerów projektu. Badania nowych materiałów magnetycznych wykonanych z materiałów amorficznych szybkoschładzanych w zastosowaniach do wysokosprawnych przekształtników energoelektronicznych prowadzone były w ramach projektu finansowanego z Funduszy Strukturalnych i koordynowanego przez Instytut Metali Nieżelaznych przy współpracy z dwoma ośrodkami akademickimi (Politechnika Śląska, Politechnika Warszawska) oraz kilkoma partnerami przemysłowymi. W ramach projektu prowadzono badania właściwości magnetycznych i strat mocy w nowych materiałach magnetycznych (wytwarzanych przez Instytut Metali Nieżelaznych), pracujących w przekształtnikach energoelektronicznych, to jest przy podwyższonej częstotliwości (badania prowadzone były w zakresie do 100 kHz) oraz przy prądach okresowych niesinusoidalnych (głównie przebiegi trójkątne i trapezoidalne). Prace poświęcone zagadnieniom modelowania procesu odlewania ciągłego żeliwa szarego wnioskodawca realizował we współpracy z Katedrą Odlewnictwa Politechniki Śląskiej w ramach Projektu Badań Rozwojowych. W ramach projektu był głównym wykonawcą badań w części elektrotechnicznej, poświęconej analizie numerycznej procesu mieszania elektromagnetycznego ciekłego żeliwa oraz analizy sprzężonej cieplno-elektrycznej procesu krystalizacji podczas oddziaływania sił wynikających z przyłożonego zewnętrznego pola elektromagnetycznego.

Wnioskodawca aktywnie, przez cały okres działalności akademickiej współpracuje z przemysłem w zakresie zlecanych prac badawczych, ekspertyz oraz konsultacji. Spośród przedsiębiorstw dla których realizował prace naukowo-badawcze wymienić można przedsiębiorstwo Hitin z Katowic, dla którego wnioskodawca przeprowadził analizę optymalizacji wzbudnika do nagrzewania indukcyjnego, firmę CIM-MES Projekt z Warszawy, gdzie realizował prace konstrukcyjne w zakresie wzbudnika indukcyjnego do pośredniego topienia tworzyw sztucznych oraz firmę Enel-PC z Gliwic, dla której prowadzone były badania w zakresie analizy strat mocy i optymalizacji kształtu dławika indukcyjnego stosowanego w przekształtnikami dużej mocy zasilających silniki indukcyjne. Drobniejsze prace badawcze, polegające głównie na analizie numerycznej wybranych problemów inżynierskich prowadzone były też dla Instytutu Spawalnictwa i Instytutu Metali Nieżelaznych.

Wyniki badań, oprócz publikacji w czasopismach naukowych i branżowych, wnioskodawca prezentował na prawie 40 konferencjach naukowych, głównie o charakterze międzynarodowym, sympozjach, seminariach branżowych i targach. W niektórych z konferencji uczestniczył wielokrotnie przez kilka edycji. Do takich konferencji można zaliczyć można zaliczyć serię konferencji EPE/PEMC w której wnioskodawca uczestniczył łącznie ośmiokrotnie, w tym czterokrotnie po doktoracie, główną europejską konferencję nadprzewodnictwa EUCAS, w której uczestniczy nieprzerwanie od 2007 roku, konferencję Power Electronics organizowaną przez Uniwersytet w Nowym Sadzie (Serbia) – uczestnictwo od 2001 roku, w tym po doktoracie pięciokrotnie, a w 2013 nagrodzony specjalnym wyróżnieniem za aktywny wkład z okazji 40-lecia istnienia tej konferencji. Wnioskodawca uczestniczy także nieprzerwanie od początku istnienia (był członkiem grupy inicjującej utworzenie) międzynarodowej konferencji poświęconej modelowaniu w nadprzewodnictwie pt. International Workshop on HTS Numerical Modelling. Konferencja gromadzi w cyklu dwu lub trzyletnim (dotychczas 6 edycji) ponad stu uczestników – naukowców z całego świata, zajmujących się zagadnieniami modelowania numerycznego nadprzewodników. Spośród organizowanych w Polsce konferencji i seminariów wnioskodawca uczestniczy aktywnie od 2007 roku w międzynarodowej konferencji ELMECO połączonej z seminarium Applications of Superconductivity, organizowanej przez Politechnikę Lubelską oraz w corocznym seminarium branżowym Symulacja organizowanym przez Biuro Usług Inżynierskich MESco z Tarnowskich Gór – licencjonowanego dystrybutora oprogramowania ANSYS na Polskę.

Wnioskodawca aktywnie uczestniczył i uczestniczy w organizacji krajowych i międzynarodowych konferencji naukowych. W roku 2016 współorganizował cykliczne Sympozjum Naukowe „Energoelektronika w Nauce i Dydaktyce" pełniąc funkcję Sekretarza Sympozjum. W trzech międzynarodowych konferencjach naukowych pełnił funkcje organizacyjne, odpowiednio członka komitetu organizacyjnego, członka publicity committee oraz członka komitetu programowego. W ramach konferencji planowanych w przyszłości, został powołany w skład komitetu naukowego międzynarodowej konferencji Power Quality (2019, Estonia) oraz w skład zespołu organizacyjnego konferencji IEEE-PEMC 2020 (organizowanej przez jednostkę wnioskodawcy w Gliwicach). W ramach kilku międzynarodowych konferencji naukowych wnioskodawca uczestniczył w procesie recenzowania publikacji konferencyjnych. Opracowywał recenzje między innymi do (każdorazowo 4-6 recenzji): ICEC23-ICMC 2010 (Wrocław, Polska), ISIE 2014 (Stambuł, Turcja), Elmeco 2017 (Nałęczów, Polska), EPE-PEMC 2010 (Ohrid, Macedonia).

Oprócz recenzowania publikacji konferencyjnych wnioskodawca systematycznie uczestniczy w procesie recenzyjnym publikacji w renomowanych krajowych i międzynarodowych czasopismach naukowych. Opracowywał recenzje między innymi do IEEE Transactions of Superconductivity, IEEE Transactions of Industrial Electronics, Superconductivity Science and Technology, a także do Przeglądu Elektrotechnicznego. Łącznie opracował około 20 recenzji.

Od 2013 współpracuje z Narodowym Centrum Badań i Rozwoju jako ekspert w zakresie kryteriów naukowo-technicznych i gospodarczo-biznesowych. Ukończył w tym zakresie odpowiednie szkolenia organizowane przez NCBiR oraz cykl szkoleń antykorupcyjnych. Dotychczas uczestniczył w ponad 30 procesach oceny zarówno wniosków projektowych, jak i

raportów z realizacji projektu. Uczestnictwo to miało formę zarówno oceny zdalnej, jak i oceny panelowej zespołu ekspertów w siedzibie NCBiR lub w siedzibie wnioskodawcy. Od 2016 roku jest zarejestrowanym ekspertem Fundacji Rozwoju Systemu Edukacji w obszarach Szkolnictwo Wyższe oraz Edukacja Szkolna (wnioskodawca w okresie przed obroną pracy doktorskiej pracował jako nauczyciel przedmiotów zawodowych w szkołach średnich, posiada przygotowanie pedagogiczne oraz uzyskany w trakcie pracy w szkole stopień awansu zawodowego nauczyciela kontraktowego, przez co spełnia wymagania dla sektora Edukacja Szkolna). Ze względu na realizację projektów Erasmus+ w charakterze lidera i kierownika projektów, a tym samym konflikt interesów, nie uczestniczył dotychczas w ocenie projektów finansowanych przez FRSE. Jest zarejestrowanym kandydatem na recenzenta Komisji Europejskiej w ramach programu Horizon2020.

Wnioskodawca doskonalił swój warsztat naukowy poprzez liczne staże i wyjazdy zagraniczne, w większości krótkoterminowe (6-10 dni), przy czym ich liczba odpowiada pobytowi za granicą o łącznej długości przekraczającej 8 miesięcy. Oprócz wspomnianych już wyjazdów w ramach realizacji międzynarodowych projektów badawczych, wyjazdów na konferencje naukowe i warsztaty (2-3 wyjazdy rocznie) wnioskodawca uczestniczył trzykrotnie w letniej szkole nadprzewodnictwa, 8 dni każdy (2007 – Karlsruhe, Niemcy, 2008 – Pori, Finlandia, 2009 – Grenoble, Francja), oraz w licznych wyjazdach o charakterze dydaktyczno-naukowym w ramach Erasmus+ Staff Exchange. Wyjazdy te miały zarówno charakter wykładowy, jak i treningowy (szczególnie istotne były wyjazdy organizowane w formie International Staff Week). Zgodnie ze specyfiką programu Erasmus+ wyjazdy zagraniczne odbywały się do różnych uczelni docelowych. Były to między innymi Nancy, Francja (2006), Cork, Irlandia (2009) Denizli, Turcja (2011), Wilno, Litwa (2013), Żylina, Słowacja (2014), Galati, Rumunia (2016), Tallinn, Estonia (2017), Paramaribo, Surinam (2018). Liczne wyjazdy zagraniczne realizowane były przez wnioskodawcę w ramach sieci współpracy CUCEE (Cooperation of Universities in Central and Eastern Europe). Były to różnego rodzaju wizyty studyjne, seminaria oraz wykłady na zaproszenie, realizowane u partnerów sieci (Giessen – Niemcy, Tallinn – Estonia, Mińsk – Białoruś). Liczne wyjazdy zagraniczne związane były również z realizacją (w tym koordynacją) programów edukacyjnych Partnerstwa Strategicznego Erasmus+, w ramach których wnioskodawca wizytował również w zakresie aspektów badawczych takie ośrodki jak: Pamukkale University, Bahcesehir University (Turcja), University de Lorraine (Francja), University of Galati (Rumunia), Tallinn University of Technology (Estonia).

W 2007 roku współtworzył unikatowe w skali uczelni, a nawet regionu Laboratorium Zastosowań Nadprzewodnictwa o charakterze badawczo-dydaktycznym. Od czterech lat jest kierownikiem tego laboratorium. W trakcie swojej aktywności naukowej sprawował i sprawuje szereg funkcji organizacyjnych w ramach katedry i wydziału. Od 2008 roku jest wydziałowym koordynatorem programu Erasmus+, gdzie odpowiedzialny jest za rekrutację studentów na studia i praktyki, zarówno wyjeżdzających, jak i przyjeżdzających (ocena aplikacji, weryfikacja indywidualnych programów kształcenia) oraz za moderowanie wymiany naukowej kadry między uczelniami programu. Od 2012 jest przewodniczącym Wydziałowej Komisji ds. Współpracy Międzynarodowej w ramach której koordynuje całokształt podejmowanych przez

Wydział działań o charakterze transgranicznym. W 2008 z inicjatywy studentów specjalności Przetwarzanie i Użytkowanie Energii Elektrycznej wspierał proces utworzenia Studenckiego Koła Naukowego Energoelektroników oraz podjął się sprawowania funkcji opiekuna naukowego tego koła. Funkcję tę sprawuje do chwili obecnej (od kilku lat przy wsparciu studentów studiów doktoranckich). W 2016 włączył się do międzywydziałowej inicjatywy zorganizowania Interdyscyplinarnej Międzynarodowej Szkoły Letniej dla Doktorantów w ramach programu CEEPUS. Dwukrotnie, w 2017 i 2018 współorganizował to wydarzenie jako Kierownik Szkoły (kierownik projektu) na Wydziale Elektrycznym. Obecnie trwają przygotowania do trzeciej edycji tego wydarzenia.

Wnioskodawca jest inicjatorem projektów Partnerstwa Strategicznego Erasmus+ nakierowanych na rozwój innowacyjnych metod edukacyjnych oraz procesów integracji środowisk naukowych i edukacyjnych. W ramach zainicjowanych projektów (z partnerstwem instytucji edukacyjnych różnych szczebli z Polski, Niemiec, Francji, Estonii i Rumunii) koordynuje projekty o charakterze innowacji edukacyjnych nakierowane na wzmacnianie zainteresowania młodzieży szkolnej studiowaniem kierunków inżynierskich oraz wzmacniania w szkołach kształcenia wśród młodzieży zagadnień technicznych oraz pierwszej pomocy i ratowania życia w sytuacjach zagrożenia.

W zakresie pracy dydaktycznej prowadzi zajęcia z zakresu energoelektroniki, zastosowań nadprzewodnictwa oraz wykorzystania modelowania numerycznego w projektowaniu elementów i systemów energoelektronicznych. Jest promotorem ponad 100 prac dyplomowych i projektów inżynierskich. Tematyka prowadzonych prac jest najczęściej komplementarna względem realizowanych przez wnioskodawcę projektów badawczych, często jako ich część oraz we współpracy z naukowcami z zagranicy. Kilka z prac magisterskich realizowanych było w formie czasowego udziału dyplomanta w badaniach w zagranicznych ośrodkach partnerskich, gdzie prowadzone były najczęściej badania eksperymentalne niemożliwe do wykonania w jednostce wnioskodawcy. Wśród wypromowanych przez wnioskodawcę absolwentów, jedna osoba otrzymała już stopień doktora, a 4 osoby są uczestników studiów doktoranckich (w tym 2 za granicą). Pracę dyplomowe, prowadzone przez wnioskodawcę były też nagradzane w konkursach branżowych, między innymi w konkursie SEP na najlepszą pracę dyplomową. Wnioskodawca był promotorem pomocniczym w jednym zakończonym przewodzie doktorskim. Praca doktorska opracowana w tym przewodzie została obroniona z wyróżnieniem i nagrodzona w konkursie prac doktorskich organizowanym przez firmę ABB.

Wnioskodawca aktywnie uczestniczy w działalności krajowych i międzynarodowych towarzystw naukowych. Jest członkiem European Society of Applied Superconductivity, w ramach którego w cyklu dwuletnim uczestniczy we współorganizowanych przez towarzystwo konferencjach EUCAS oraz uczestniczył w szkołach letnich nadprzewodnictwa. Jest członkiem IEEE w statusie Senior Member, w tym członkiem towarzystw: IEEE Industrial Electronics, IEEE Magnetics oraz IEEE Council on Superconductivity. Działa także w ramach Chapteru Magnetics Polskiej Sekcji IEEE, gdzie w kadencji 2018-2019 pełni funkcję Sekretarza/Skarbnika. Jest członkiem Institute of Physics w statusie Affiliate Member oraz członkiem Stowarzyszenia Elektryków Polskich.

Za swoją działalność naukową, dydaktyczną i organizacyjną wielokrotnie nagradzany i odznaczany. Za działalność organizacyjną prowadzoną w roku 2016 nagrodzony indywidualną nagrodą Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego I stopnia. Nagradzany przez JM Rektora Politechniki Śląskiej 10-krotnie nagrodami różnego szczebla, w tym 4-krotnie nagrodami zespołowymi za działalność naukową, jednokrotnie nagrodą zespołową za działalność dydaktyczną, a także 2-krotnie nagrodą indywidualną i 3-krotnie nagrodą zespołową za działalność organizacyjną. Za wypełnianie obowiązków służbowych w sposób znacznie wykraczający poza ich podstawowy zakres odznaczony przez Prezydenta RP Brązowym Krzyżem Zasługi (2009) oraz Brązowym Medalem za Długoletnią Służbę (2016). Za działania na rzecz doskonalenia procesu dydaktycznego odznaczony w 2018 Medalem Komisji Edukacji Narodowej.

.....
Podpis wnioskodawcy