

**Piotr BOGUSZ**

**Politechnika Rzeszowska  
im. Ignacego Łukasiewicza**

**(Wydział Elektrotechniki i Informatyki)**

**Załącznik nr 2**

**Autoreferat przedstawiający  
opis dorobku i osiągnięć naukowych**

## Autoreferat

### 1. Imię i Nazwisko

Piotr Bogusz

### 2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe/ artystyczne – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej

Dyplom magistra inżyniera elektryka: Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza – Rzeszów, Wydział Elektryczny, Kierunek: Elektrotechnika w zakresie: Maszyny i Urządzenia, Temat pracy: „Wibroakustyka silników indukcyjnych trójfazowych”, 2.07.1993, Promotor: dr inż. Krzysztof Pyś

Dyplom doktora nauk technicznych: Instytut Elektrotechniki w Warszawie, 23.10.2003, Temat rozprawy: „Silnik reluktancyjny przełączalny sterowany z procesora sygnałowego”, Promotor: prof. dr hab. inż. Marian P. Kaźmierkowski, Recenzenci: prof. dr hab. inż. Krzysztof Zawirski, dr hab. inż. Ryszard Zapaśnik prof. IEL

### 3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

1993-2003 – Politechnika Rzeszowska (zatrudniony na stanowisku asystenta/wykładowcy)

2003 – (...) - Politechnika Rzeszowska (zatrudniony na stanowisku adiunkta)

### 4. Wskazanie osiągnięcia\* wynikającego 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 (Dz. U. 2016 r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r. poz. 1311.):

a) *tytuł osiągnięcia naukowego,*

**STEROWANIE MASZYN RELUKTANCYJNYCH PRZEŁĄCZALNYCH  
W NAPĘDACH POJAZDÓW ELEKTRYCZNYCH**

**b) (autor/autorzy, tytuł/tytuły publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa, recenzenci wydawniczy),**

1. **Bogusz P.**, *Sterowanie maszyn reluktancyjnych przełączalnych w napędach pojazdów elektrycznych* – monografia, Wrzesień 2018, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, ISBN: 978-83-7934-237-2, recenzenci wydawniczy: dr hab. inż. Ryszard Beniak, prof. PO, prof. dr hab. inż. Stanisław Piróg.

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

**c.1) Wprowadzenie**

W początkowej fazie rozwoju pojazdów elektrycznych do ich napędu stosowano maszyny komutatorowe prądu stałego. Jednak ze względu na liczne wady wynikające między innymi z zastosowania komutatora mechanicznego, maszyny te zostały zastąpione bardziej niezawodnymi i sprawniejszymi maszynami bezkomutatorowymi, do których należą: maszyny indukcyjne (ang. Induction Machines - IM), maszyny synchroniczne o magnesach trwałych (ang. Permanent Magnet Synchronous Machines - PMSM), maszyny bezszczotkowe prądu stałego (ang. Brushless Direct Current Machines - BLDCM), maszyny reluktancyjne przełączalne (ang. – Switched Reluctance Machines - SRM).

Obecnie wiele koncernów samochodowych wprowadziło do produkcji seryjnej i sprzedaży pojazdy z napędem hybrydowym lub elektrycznym (np. Toyota, Nissan, BMW, Volkswagen i inne). Kluczowym czynnikiem wpływającym na zasięg pojazdu jest pojemność zastosowanych akumulatorów. Drugim czynnikiem jest sprawność stosowanych napędów. W ramach udoskonalania napędów elektrycznych przeznaczonych do zastosowań w pojazdach samochodowych prowadzonych jest szereg badań mających na celu poprawę ich właściwości eksploatacyjnych. Badania te obejmują między innymi:

- testowanie nowych rozwiązań konstrukcyjnych maszyn elektrycznych,
- współpracę układów wielomaszynowych,
- opracowywanie nowych układów zasilających,
- opracowywanie nowych algorytmów sterowania.

Obecnie w pojazdach elektrycznych najczęściej stosowane są maszyny o magnesach trwałych (BLDCM i PMSM). Maszyny te charakteryzują się bardzo dobrymi parametrami eksploatacyjnymi, są jednak drogie i posiadają szereg wad do których należy zaliczyć między innymi: pogorszenie się parametrów magnesów z czasem eksploatacji (lub w wyniku wzrostu ich temperatury pracy) oraz możliwość rozmagnesowania magnesów wskutek nieprawidłowej pracy układu sterowania (co jest równoznaczne z uszkodzeniem maszyny). Alternatywnym rozwiązaniem jest zastosowanie napędów z maszynami indukcyjnymi lub z maszynami reluktancyjnymi przełączalnymi, które nie posiadają magnesów trwałych. Napędy z maszynami indukcyjnymi posiadają ugruntowaną pozycję na rynku ze względu na dobre właściwości regulacji prędkości, umiarkowaną cenę oraz niski poziom generowanego hałasu. Tańszą alternatywą w porównaniu do maszyn o magnesach trwałych oraz maszyn indukcyjnych są napędy z maszynami reluktancyjnymi przełączalnymi, które charakteryzują się wysoką niezawodnością ze względu na bardzo prostą konstrukcję (brak magnesów i uzwojeń na wirniku). Niestety wadami maszyn SRM są duże tętnienia momentu oraz wysoki poziom zjawisk wibroakustycznych. Te niekorzystne zjawiska ograniczane są poprzez odpowiednią konstrukcję tych maszyn (maszyny wielobiegunowe) oraz sterowanie minimalizujące tętnienia momentu. Prosta konstrukcja maszyn SRM powoduje, że koszty ich wytworzenia są mniejsze niż w przypadku maszyn z magnesami trwałymi. Efektem tego niektóre firmy (jak np. Nidec Corporation czy Punch Powertrain) oferują napędy z maszynami SRM jako tańsza alternatywa dla napędów z maszynami o magnesach trwałych. Coraz większa popularność pojazdów elektrycznych oraz duże moce silników napędowych w nich stosowanych (od kilkunastu do kilkuset kilowatów) sprawiają, że niewielka poprawa sprawności pojedynczego napędu może przynieść istotne globalne korzyści w zużyciu energii elektrycznej. Poprawa sprawności napędów z maszynami SRM może być uzyskiwana drogą optymalizacji konstrukcji, zastosowania materiałów o lepszych parametrach magnetycznych jak również optymalizacji algorytmów sterowania. Jeśli nowe algorytmy sterowania nie wymagają zmiany konfiguracji układu sterowania, to wymiana istniejącego oprogramowania ze zmodyfikowanymi algorytmami sterowania jest bardzo prosta i mało kosztowna w realizacji.

***c.2) Cel osiągnięcia naukowego***

**Celem osiągnięcia naukowego jest opracowanie autorskich algorytmów sterowania mających za zadanie poprawę właściwości eksploatacyjnych maszyn reluktancyjnych przelączalnych w zakresie pracy silnikowej i generatorowej.** Potwierdzeniem przydatności opracowanych algorytmów sterowania maszyn SRM jest przedstawienie wyników badań symulacyjnych i laboratoryjnych. Badania symulacyjne zostały przeprowadzone na opracowanych przez autora modelach symulacyjnych napędu SRM w systemie Matlab/Simulink. Badania laboratoryjne weryfikujące działanie proponowanych algorytmów sterowania zostały sprawdzone na zaprojektowanym przez autora stanowisku badawczym umożliwiającym badania pracy silnikowej i generatorowej maszyn SRM w stanach statycznych i dynamicznych.

***c.3) Opis osiągniętych wyników prowadzonych prac badawczych***

W ramach prowadzonych badań naukowych autor zaproponował własne oryginalne algorytmy:

- c.3.1. zależnego sterowania prądowego maszyn SRM w zakresie pracy silnikowej,
- c.3.2. minimalizacji tętnień momentu maszyn SRM z zastosowaniem zależnego sterowania momentem w zakresie pracy silnikowej,
- c.3.3. zależnego sterowania prądowego maszyn SRM w zakresie pracy generatorowej.

W celu weryfikacji pomiarowej opracowanych algorytmów sterowania autor:

- c.3.4. zaprojektował stanowisko do badań napędów przeznaczonych dla lekkich pojazdów elektrycznych,
- c.3.5. zaprojektował i wykonał układ sterowania dla maszyny reluktancyjnej przelączalnej oraz oprogramował stanowisko badawcze,
- c.3.6. wykonał badania laboratoryjne przydatności proponowanych algorytmów sterowania.

Ad.c.3.1. Metoda zależnego sterowania prądowego dla pracy silnikowej (ang. Motor Dependent Current Control – MDCC), została opracowana w celu ograniczenia maksymalnej wartości prądu źródła jak również wartości skutecznej tego prądu. Prąd pobierany ze źródła zasilania osiąga maksima w momentach jednoczesnego zasilania dwóch pasm silnika. W proponowanej metodzie założono taki sposób sterowania prądami komutujących pasm, aby ich suma nie powodowała przekroczenia wartości prądu odniesienia zadawanego regulatorom prądów pasmowych. Zaletą tej metody sterowania jest ograniczenie wartości maksymalnej i skutecznej prądu źródła, co zostało udowodnione poprzez badania symulacyjne i laboratoryjne bez konieczności stosowania dodatkowych filtrów. W sterowniku maszyn SRM zastosowanie dodatkowych układów filtrujących spowodowałoby zwiększenie gabarytów i kosztów układu zasilania. Ograniczenie wartości skutecznej prądu źródła wpływa na redukcję strat mocy w samym źródle zasilania, którym w przypadku pojazdów elektrycznych jest najczęściej akumulator elektrochemiczny. Z przeprowadzonych badań wynika, że przy niskich prędkościach wirnika czas narastania prądu pasmowego w proponowanej metodzie (MDCC) jest zbliżony do czasu narastania prądu pasmowego w klasycznej metodzie (ang. Motor Classical Current Control – MCCC). Jest to spowodowane tym, że napięcie rotacji jest małe, stąd zmiany prądu są bardzo szybkie. Wzrost prędkości wirnika powoduje, że wzrasta napięcie rotacji, co skutkuje wzrostem czasu narastania prądu pasmowego (od zera do wartości prądu odniesienia) w obu porównywanych metodach sterowania, tj. MCCC i MDCC. W metodzie MCCC narastanie prądu odbywa się pod wpływem pełnego napięcia szyny zasilającej ( $U_{dc}$ ), natomiast w metodzie MDCC średnia wartość napięcia pod wpływem którego narasta prąd pasmowy jest mniejsza od napięcia szyny zasilającej, a jego wartość zależy od pracy regulatora prądu w tzw. paśmie odchodzącym (czyli poprzedzającym pasmo bieżące). Napięcie to maleje wraz ze wzrostem prędkości wirnika. Skutkiem tego czas narastania prądu pasmowego w proponowanej metodzie jest dłuższy w porównaniu do czasu narastania prądu przy klasycznym sterowaniu prądowym w analogicznym punkcie pracy napędu SRM. Na podstawie wykonanych przez autora badań stwierdzono, że zakres pracy napędu przy proponowanej metodzie sterowania stanowi 2/3 zakresu pracy klasycznego sterowania prądowego w zakresie pracy silnikowej. Aby napęd

mógł pracować w szerszym zakresie prędkości istnieje konieczność zintegrowania proponowanego algorytmu sterowania z algorytmem klasycznym (MCCC). Zmniejszenie stromości narastania prądu pasmowego wskutek zastosowania metody MDCC powoduje zmniejszenie jego wartości skutecznej w porównaniu do tego samego punktu pracy napędu przy zastosowaniu metody MCCC. W efekcie maleją również straty mocy w uzwojeniach maszyny. Ze względu na to, że proponowana metoda MDCC jest skuteczna w mniejszym zakresie prędkości niż klasyczna metoda MCCC, przy implementacji w docelowym napędzie konieczne jest zastosowanie obu typów sterowania MDCC i MCCC. W tym celu autor zaproponował, aby metoda MDCC była stosowana dla prędkości od zera do  $\frac{2}{3}$  prędkości bazowej (dla sterowania MCCC), a po przekroczeniu tej granicy stosowana była klasyczna metoda MCCC. Z przeprowadzonych badań wynika, że przejście z jednego algorytmu sterowania do drugiego odbywa się w sposób płynny i nie powinno być odczuwalne przez użytkownika (w przypadku zamontowania napędu w pojeździe elektrycznym).

Ad.c.3.2. Metoda minimalizacji tętnień momentu z zastosowaniem zależnego sterowania momentem (ang. Dependent Torque Motor Control – DTMC) jest drugim zaproponowanym w monografii algorytmem sterowania stosowanym w zakresie pracy silnikowej. Minimalizacja pulsacji momentu z zastosowaniem funkcji rozkładu momentu jest znanym rozwiązaniem i polega na takim kształtowaniu prądu pasmowego, aby otrzymać zadany kształt przebiegu momentu pasmowego. Skuteczność metod minimalizacji tętnień momentu zależy od prędkości pracy napędu. Wzrost prędkości wirnika powoduje wzrost napięcia rotacji wskutek czego zmiany prądu w obwodzie są wolniejsze, a to utrudnia skuteczne odwzorowanie momentu. W zaproponowanym algorytmie sterowania wzajemne uzależnienie pracy regulatorów sąsiednich pasm miało na celu podobnie jak w metodzie MDCC, ograniczenie wartości skutecznej prądu źródła. Do badań zastosowano znany kształt funkcji rozkładu momentu, tj. funkcję o zboczach kosinusoidalnych. W odróżnieniu od sterowania prądowego MDCC, gdzie do regulacji prądów pasmowych stosowano dwustanowe regulatory typu „delta”, w sterowaniu minimalizującym tętnienia momentu zastosowano trójstanowe regulatory momentów pasmowych. Przedziały kąta położenia wirnika, w których występuje jednoczesny przepływ dwóch prądów

pasmowych, to przedziały w których zadawana funkcja rozkładu momentu (dla poszczególnych pasm maszyny) narasta lub opada. W związku z tym w monografii rozpatrzono dwa przypadki, w których zastosowano algorytmy zależnego sterowania momentem  $DTMC^{(RC)}$  (Rising Control – RC) i  $DTMC^{(FC)}$  (Falling Control –FC). W celu sprawdzenia zaproponowanych metod sterowania wykonano badania symulacyjne, w których dokonano analizy porównawczej klasycznej metody minimalizacji tętnień momentu (ang. Classical Torque Motor Control - CTMC) z proponowanymi metodami  $DTMC^{(RC)}$  i  $DTMC^{(FC)}$ . Z przeprowadzonej analizy porównawczej rozpatrywanych metod wynika, że:

- przy bardzo małych prędkościach i sterowaniu metodą  $DTMC^{(RC)}$  bardzo dobrze odtwarzany jest zadawany moment, przy jednoczesnym zmniejszeniu wartości skutecznej pobieranego prądu ze źródła zasilania oraz występuje najmniejszy poziom pulsacji momentu,
- metoda  $DTMC^{(FC)}$  bardzo dobrze sprawdza się przy większych prędkościach wirowania (bliskich prędkości granicznej metody), gdyż w niewielkim stopniu spada poziom wytwarzanego momentu, natomiast znacząco zmniejsza się wartość skuteczna prądu źródła oraz poziom pulsacji momentu (w odniesieniu do metody CTMC).

Ad.c.3.3. W metodzie zależnego sterowania prądowego w zakresie pracy generatorowej (ang. Generator Dependent Current Control - GDCC) autor zaproponował nową funkcję sterowania prądowego w zakresie pracy generatorowej SRM, która uzależnia działanie regulatora prądu w paśmie odchodzącym od pracy regulatora prądu w paśmie bieżącym. Ze względu na charakterystyczny kształt prądów pasmowych maszyny SRM pracującej jako generator wyróżniono trzy stany pracy, w których występuje:

- sterowanie prądowe,
- przepływ prądu o charakterze jednopulsowym,
- przepływ prądu o charakterze ciągłym.

Z przeprowadzonych badań wynika, że przy sterowaniu prądowym w danym punkcie pracy uzyskiwana z maszyny moc jest taka sama dla sterowania GCCC i GDCC. Przejście generatora do pracy jednopulsowej powoduje zwiększenie



generowanej mocy dla sterowania GDCC w odniesieniu do sterowania GCCC. Przejście maszyny do stanu przewodzenia ciągłego powoduje jeszcze większe różnice generowanej mocy pomiędzy sterowaniem GDCC i GCCC. W badaniach laboratoryjnych przy sterowaniu zaproponowaną metodą w danym punkcie pracy maszyny nastąpił wzrost generowanej mocy o 11% w stosunku do klasycznego sterowania (GCCC), przy zachowaniu sprawności na tym samym poziomie. Ta właściwość jest bardzo istotna dla możliwości odzyskiwania energii w pojeździe elektrycznym podczas hamowania, gdyż pozwala przy danej prędkości odzyskać większą ilość energii niż przy klasycznym sterowaniu maszyny SRM.

Ad.c.3.4. W celu weryfikacji opracowanych metod sterowania autor zaprojektował stanowisko badawcze umożliwiające testowanie maszyn elektrycznych w zakresie pracy czterokwadrantowej. Stanowisko to zostało wykonane w ramach projektu badawczego pt. "Elektryczny układ napędowy małych obiektów mobilnych", który był realizowany (i kierowany przez autora) w Katedrze Elektrodynamiki i Układów Elektromaszynowych Wydziału Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Rzeszowskiej w latach 2010-2013. Stanowisko to oprócz maszyny badanej wyposażone było w maszynę komutatorową prądu stałego zasilaną ze sterownika czterokwadrantowego. Sterownik ten był sprzęgnięty z kartą prototypującą dSpace, dzięki czemu możliwe było programowe zadawanie momentu obciążenia (lub napędowego) zmiennego w czasie. Takie rozwiązanie umożliwiło nie tylko testowanie badanej maszyny w stanach statycznych, ale również w stanach dynamicznych. Zaproponowany system zasilania stanowiska zawierał wysokoprądowy zasilacz prądu stałego (60 V, 110 A) oraz baterię czterech szeregowo połączonych akumulatorów ołowiowych o łącznym napięciu 48 V. Szeregowo z zasilaczem włączono diodę zabezpieczającą go przed prądem zwrotnym z akumulatorów lub napędu pracującego w trybie generatorowym. Maksymalne napięcie pracy zestawu zasilania zostało ograniczone do 56 V poprzez równoległe dołączenie do szyny zasilającej obciążenia programowalnego pracującego w trybie CV (ang. Constant Voltage). Takie rozwiązanie zabezpiecza akumulatory przed nadmiernym rozładowaniem oraz przed ich przeładowaniem szczególnie podczas badań napędu w stanach dynamicznych.

Ad.c.3.5. Do sterowania czteropasmową maszyną SRM o mocy 3,3 kW i napięciu 48V autor zaprojektował i wykonał układ elektroniczny współpracujący z kartą prototypującą dSpace DS1103. Układ mocy został zaprojektowany na płycie o dużej pojemności cieplnej, tak aby nie było konieczności umieszczania tranzystorów mocy na radiatorach. Programy implementujące proponowane i klasyczne algorytmy sterowania maszyny SRM na karcie DS1103 zostały napisane w języku C. Pulpit sterowania napędu został zaprojektowany w środowisku ControlDesk współpracującym z tą kartą. Opracowane programy uwzględniały również sterowanie układem zasilania maszyny prądu stałego (Mentor), w którym wbudowany był sterownik PLC umożliwiający dostosowanie układów wejścia/wyjścia do współpracy z kartą DS1103. W ramach prowadzonych prac programistycznych został zaimplementowany algorytm łączący pracę maszyny SRM przy zastosowaniu proponowanych algorytmów (pracujących w ograniczonym zakresie prędkości wirowania wirnika) z istniejącymi (powszechnie stosowanymi) algorytmami sterowania. Dzięki temu badany napęd mógł poprawnie pracować w całym zakresie prędkości, wykorzystując zalety proponowanych algorytmów.

Ad.c3.6. Badania laboratoryjne napędu SRM przeprowadzono na stanowisku badawczym omówionym w punktach Ad.c.3.4 i Ad.c.3.5. Stanowisko to umożliwiło sprawdzenie osiągow badanej maszyny SRM w zakresie pracy silnikowej i generatorowej w stanach statycznych i dynamicznych. Do pomiaru parametrów maszyny SRM pracującej przy ustalonej prędkości zastosowano analizator mocy firmy Yokogawa typu WT 1800 wyposażony w tzw. moduł silnikowy, który na podstawie pomiarów prędkości i momentu mierzył moc na wale maszyny. Opracowany przez autora program sterujący poszczególnymi urządzeniami stanowiska za pomocą karty DS1103 pozwolił na zautomatyzowanie wyznaczania większości charakterystyk uzyskiwanych przy stałej prędkości. Tym sposobem możliwe było wyznaczenie charakterystyk dla porównywanych algorytmów sterowania w takich samych warunkach pracy (czas, temperatura).

#### **c.4) Podsumowanie osiągnięcia naukowego**

Prowadzone przez autora w ramach omawianego osiągnięcia naukowego prace badawcze, były ukierunkowane przede wszystkim na poprawę właściwości eksploatacyjnych maszyn reluktancyjnych przełączalnych przeznaczonych do napędu pojazdów elektrycznych. Dzięki zaproponowanym algorytmom sterowania przy pracy silnikowej możliwe było ograniczenie wartości skutecznej prądu pobieranego ze źródła zasilania, co z kolei pozwala na zmniejszenie strat w obwodzie zasilania. Ma to bardzo istotne znaczenie w przypadku zasilania pojazdów z akumulatorów elektrochemicznych i może mieć bezpośrednio wpływ na zasięg pojazdu. Dodatkowo, proponowane metody sterowania pozwoliły na zmniejszenie tętnień momentu (w pewnych zakresach pracy silnika), a także pozwoliły zwiększyć sprawność napędu. Zaletą zaproponowanych algorytmów sterowania jest brak konieczności fizycznych zmian w układzie sterowania, co pozwala na łatwą ich implementację w sterowanym napędzie (wymiana programu).

Do najistotniejszych własnych osiągnięć związanych z zastosowaniem maszyn reluktancyjnych przełączalnych w napędach pojazdów elektrycznych autor zalicza:

- Opracowanie autorskiej metody zależnego sterowania prądowego (MDCC) poprawiającego sprawność napędu w zakresie pracy silnikowej maszyny reluktancyjnej przełączalnej, przy jednoczesnym ograniczeniu wartości skutecznej i maksymalnej prądu źródła. Ograniczenie wartości skutecznej prądu źródła ma bezpośredni wpływ na straty mocy w samym źródle zasilania (najczęściej jest to akumulator elektrochemiczny). Ten rodzaj sterowania w porównaniu do klasycznego sterowania prądowego niesie ze sobą podwójną korzyść, gdyż poprawia sprawność samego napędu oraz ogranicza straty w samym źródle zasilania.
- Opracowanie algorytmu zależnego sterowania prądowego (GDCC) w zakresie pracy generatorowej maszyny SRM zwiększającego moc oddawaną w porównaniu do sterowania klasycznego sterowania prądowego, bez pogorszenia sprawności.
- Opracowanie algorytmu łączącego proponowane zależne sterowanie prądowe z klasycznym sterowaniem prądowym. Potrzeba połączenia tych algorytmów

wynika stąd, że zakres prędkości pracy napędu przy proponowanej metodzie jest o około 1/3 mniejszy niż przy klasycznym sterowaniu prądowym.

- Opracowanie algorytmów minimalizujących pulsacje momentu z zastosowaniem zależnego sterowania momentem (DTMC) pozwalające na ograniczenie wartości maksymalnej i skutecznej prądu źródła.
- Zaprojektowanie i wykonanie stacjonarnego stanowiska badawczego pozwalającego na testowanie badanej maszyny w zakresie pracy silnikowej i generatorowej w stanach statycznych i dynamicznych.
- Opracowanie nieliniowych modeli symulacyjnych napędu z maszyną SRM w zakresie pracy silnikowej i generatorowej.
- Wykonanie pełnego cyklu badawczego napędu SRM, polegającego na:
  - opisie matematycznym zaproponowanych funkcji sterujących,
  - wykonaniu badań symulacyjnych,
  - wykonaniu badań eksperymentalnych.
- Zaprojektowanie mobilnego stanowiska badawczego, które jest zintegrowane z pojazdem elektrycznym i będzie umożliwiać:
  - rejestrację danych napędu podczas jazdy,
  - modyfikację algorytmów sterowania badanych napędów,
  - analizę porównawczą uzyskanych w warunkach rzeczywistych wyników.

## **5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo – badawczych**

Do pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych nie wchodzących w skład osiągnięcia omówionego w punkcie 4b zaliczam następujące zagadnienia:

- 5.1. Napędy elektryczne i hybrydowe w bezzałogowych aparatach latających
- 5.2. Stany awaryjne maszyn reluktancyjnych przełączalnych
- 5.3. Napędy elektryczne o podwyższonej niezawodności
- 5.4. Napędy z silnikami reluktancyjnymi przełączalnymi przeznaczone do zastosowań w sprzęcie AGD

Ad.5.1. Napędy elektryczne i hybrydowe w bezzałogowych aparatach latających

- [1] **Bogusz P.**, Korkosz M., Prokop J., Wygonik P., *Badania laboratoryjne ogniw elektrycznych przeznaczonych do zastosowania w napędzie hybrydowym bezzałogowego aparatu latającego*, Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne Nr 2/2012 (95), str. 111-115

W artykule przedstawiono zagadnienie zasilania bezzałogowego aparatu latającego. Na podstawie badań zaprojektowanego przez autorów napędu, określono zapotrzebowanie na moc potrzebną podczas przelotu bezzałogowego aparatu latającego i przy założonym czasie lotu określono wymaganą minimalną pojemność akumulatorów. Do realizacji badań różnego typu baterii akumulatorów przygotowano stanowisko badawcze składające się z obciążenia programowalnego oraz rejestratora oscyloskopowego. W ramach przeprowadzonych badań przetestowano dostępne na rynku ogniwa typu: LiPo, LiFePO<sub>4</sub> oraz NiMH. Ogniwa porównano pod względem wydajności energetycznej oraz pod względem wagowym. Z otrzymanych wyników badań najwydajniejsze okazały się ogniwa LiPo zarówno pod względem energetycznym oraz wagowym.

*(Mój wkład własny w realizacji tego artykułu polegał na opracowaniu koncepcji stanowiska badawczego, jego wykonaniu, opracowaniu metodyki badań laboratoryjnych. Ponadto czynnie uczestniczyłem w badaniach eksperymentalnych napędu oraz nadzorowałem stronę edytorską i współtworzyłem koncepcję artykułu. Mój udział procentowy w tym artykule oceniam na: 70%)*

- [2] **Bogusz P.**, Korkosz M., Prokop J., Wygonik P., *Badania laboratoryjne napędu hybrydowego bezzałogowego aparatu latającego*, Prace Naukowe Instytutu Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych Politechniki Wrocławskiej, nr 66, 2012, str. 209-214

W artykule przedstawiono strukturę stanowiska badawczego szeregowego hybrydowego napędu przeznaczonego do bezzałogowego aparatu latającego.

Głównym elementem całego systemu był mikrokontroler sterujący pracą wszystkich urządzeń. Opracowany sterownik pełnił funkcje:

- sterowania serwa regulującego kąt otwarcia przepustnicy silnika spalinowego (lub regulacji prędkości silnika elektrycznego zastępującego spalinowy w układzie laboratoryjnym),
- sterowania procesem ładowania akumulatora litowo-polimerowego,
- sterowania prędkością silnika napędzającego śmigło (zadajnik siły ciągu),
- automatycznej regulacji prędkości silnika spalinowego w zależności od zadanej siły ciągu oraz stanu naładowania akumulatorów.

W wyniku przeprowadzonych badań laboratoryjnych wyznaczono charakterystyki sprawności napędu.

*(Mój wkład własny w realizacji tego artykułu polegał na zaprojektowaniu i wykonaniu układu sterowania części elektromaszynowej napędu. Ponadto czynnie uczestniczyłem w badaniach eksperymentalnych napędu oraz nadzorowałem stronę edytorską i współtworzyłem koncepcję artykułu.*

*Mój udział procentowy w tym artykule oceniam na: 30%)*

- [3] Dudek M., Tomczyk P., Wygonik P., Korkosz M., **Bogusz P.**, Lis B., *Hybrid fuel cell – battery system as a main power unit for small unmanned aerial vehicles (UAV)*, INTERNATIONAL JOURNAL OF ELECTROCHEMICAL SCIENCE, 8(2013), pp.8442-8463

W artykule przedstawiono hybrydowy system zasilania napędu bezzałogowego aparatu latającego składającego się z ogniwa paliwowego oraz baterii akumulatorów litowo-jonowych. Projektowany system posłużył do napędu bezzałogowego płatowca o właściwościach szybowca, którego start przewidziano z wyrzutni lub wyciągarki naziemnej. Do napędu śmigła zastosowano bezszczotkowy silnik prądu stałego. Moc przelotowa wymagana dla tego płatowca wynosiła 200W. Do zasilania napędu wybrano komercyjne ogniwo paliwowe AEROPACK wyposażone w akumulator litowo-jonowy pełniący rolę bufora zasilania. Prowadzone w ramach artykułu prace miały na celu określenie właściwości hybrydowego zasilania oraz dobór silnika

do napędu płatowca. W tym celu przebadano system hybrydowego zasilania napędu uwzględniając rozptyw prądów i mocy między ogniwem paliwowym i akumulatorem oraz określono parametry wyjściowe badanego systemu zasilania przy różnych prądach obciążenia. W ramach prowadzonych prac do napędu płatowca dobrano silnik komercyjny, którego uzwojenia przełączono z trójkąta w gwiazdę w celu dopasowania jego punktu pracy do zastosowanego śmigła i osiągnięcia wymaganej siły ciągu.

*(Mój wkład własny w realizacji tego artykułu polegał na czynnym uczestnictwie w badaniach systemu hybrydowego zasilania napędu uwzględniając rozptyw prądów i mocy między ogniwem paliwowym i akumulatorem.*

*Mój udział procentowy w tym artykule oceniam na: 15%)*

- [4] **Bogusz P.**, Korkosz M., Grodzki P., Wygonik P., *Control of Hybrid Drive for Unmanned Aerial Vehicle*, International Symposium on Electrical Machines (SME), 2018, pp. 1-5

W artykule omówiono strukturę równoległego napędu hybrydowego przeznaczonego do bezzałogowego aparatu latającego. W ramach prowadzonych prac zaprojektowano układ sterowania napędem z zastosowaniem procesora sygnałowego TMS320F2812. Opracowany i zaimplementowany algorytm sterowania zarządza pracą maszyny elektrycznej (BLDC) pracującej jako:

- silnik napędowy śmigła,
- rozrusznik silnika spalinowego,
- prądnica doładowująca baterie akumulatorów,

oraz sprzęgłem elektromagnetycznym i silnikiem spalinowym. W ramach prowadzonych badań laboratoryjnych uruchomiono napęd i zarejestrowano przebiegi prądu maszyny BLDC, akumulatora i prędkości w stanach dynamicznych, w których maszyna elektryczna przechodziła przez poszczególne stany pracy napędu, tj. rozruch silnika spalinowego, dostarczanie przez obydwa silniki mocy na wspólny wał, praca tylko silnika spalinowego oraz praca generatorowa maszyny BLDC.

(Mój wkład własny w realizacji tego artykułu polegał na zaprojektowaniu, wykonaniu, opracowaniu algorytmu sterowania oraz oprogramowaniu sterownika do napędu bezzałogowego aparatu latającego. Sterownik ten został wykonany z zastosowaniem procesora sygnałowego TMS320F2812. Ponadto brałem udział w uruchomieniu napędu jak również jego badaniach laboratoryjnych.

Mój udział procentowy w tym artykule oceniam na: **65%**)

#### Ad.5.2. Stany awaryjne maszyn reluktancyjnych przełączalnych

- [1] **Bogusz P.**, Korkosz M., Prokop J.: *Current harmonics analysis as a method of electrical faults diagnostic in switched reluctance motors*, IEEE International Symposium on Diagnostics for Electric Machines, Power Electronics and Drives, SDEMPED- Cracow, POLAND, Date: SEP 06-08, 2007, pp. 426-431

Artykuł przedstawia zagadnienie stanów awaryjnych występujących w napędzie z maszyną reluktancyjną przełączalną (SRM). Ze względu na to, że maszyny reluktancyjne przełączalne należą do grupy maszyn z komutacją elektroniczną uszkodzenia mogące wystąpić w tego typu napędach podzielono na dwa rodzaje: wynikające ze zwarc lub przerw w elementach energoelektronicznych oraz zwarc lub przerw w uzwojeniach maszyny. Do analizy wybranych przypadków uszkodzeń wybrano pracę silnikową maszyny SRM sterowaną prądowo oraz jednopulsowo. Badania podzielono na dwie części: symulacyjną i laboratoryjną. Do badań symulacyjnych użyto pakiety: Ansys (do obliczeń polowych) oraz Matlab/Simulink (do obliczeń obwodowych). W przypadku badań symulacyjnych analizowano przebiegi prądu źródła oraz momentu elektromagnetycznego maszyny. Przebiegi te wyznaczono dla różnych przypadków uszkodzeń elementów energoelektronicznych lub uzwojeń oraz pracy napędu bez uszkodzeń i poddano je analizie tzw. szybką transformatą Fouriera (FFT). Z przeprowadzonych badań wynika, że zmiana rodzaju uszkodzenia powoduje zmianę kształtu przebiegu prądu źródła i kształtu przebiegu momentu elektromagnetycznego, co jednocześnie wpływa na rozkład harmonicznym tych przebiegów. Analiza FFT szczególnie prądu źródła ma



praktyczne znaczenie, gdyż prąd ten jest łatwy do pomiaru, a jego rozkład harmonicznym jest charakterystyczny dla danego uszkodzenia. Analiza przebiegów prądu źródła uzyskana podczas badań laboratoryjnych potwierdziła wyniki badań symulacyjnych. Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że niektóre uszkodzenia powodują charakterystyczny rozkład harmonicznym prądu źródła na podstawie którego możliwa jest identyfikacja rodzaju uszkodzenia.

*(Mój wkład własny w realizacji tego artykułu polegał na opracowaniu modelu symulacyjnego maszyny SRM o konfiguracji 6/4, wykonaniu symulacji dla rozpatrywanych stanów awaryjnych napędu oraz poddanie otrzymanych wyników analizie FFT. Ponadto wykonałem badania laboratoryjne na opracowanym przez siebie stanowisku badawczym. Współuczestniczyłem przy opracowywaniu wyników oraz nadzorowałem stronę edytorską artykułu.*

*Mój udział procentowy w tym artykule oceniam na: 40%)*

#### Ad.5.3. Napędy elektryczne o podwyższonej niezawodności

- [1] Korkosz M., **Bogusz P.**, Prokop J., *Modelling and experimental research of fault-tolerant dual-channel brushless DC motor*, IET Electric Power Applications, vol. 12, Issue: 6, 2018, pp.: 787 – 796

W artykule przedstawiono przykład dwukanałowej maszyny bezszczotkowej prądu stałego (DCBLDC) zaprojektowanej przez autorów z przeznaczeniem do napędu hybrydowego bezzałogowego aparatu latającego. Prezentowaną maszynę wraz z układem sterowania można zaliczyć do tzw. grupy napędów krytycznych stosowanych tam, gdzie wymagana jest wysoka niezawodność działania. W pracy zawarto opis matematyczny maszyny uwzględniający nieliniowość obwodu magnetycznego oraz wyniki badań symulacyjnych i laboratoryjnych w stanach statycznych i dynamicznych. W ramach badań symulacyjnych wyznaczono i porównano charakterystyki momentowe dla różnych wariantów sposobu uzwojenia maszyny mogącej pracować w trybie dwukanałowym. Wyznaczono również przebieg momentu zaczepowego. Uzyskane wyniki badań symulacyjnych porównano z wynikami badań laboratoryjnych wyznaczonych

dla analogicznych warunków pracy maszyny. Dodatkowo przeprowadzono badania związane z osiąganymi maszyną przy pracy jedno i dwukanałowej. Analizując uzyskane dane pomiarowe (wyznaczone dla tego samego punktu pracy) można zauważyć, że maszyna zasilana dwukanałowo charakteryzuje się wyższą sprawnością niż przy zasilaniu jednokanałowym. W ramach prowadzonych badań wykonano testy maszyny w stanach dynamicznych. Testy te polegały na przejściu pracy maszyny z trybu dwukanałowego do trybu jednokanałowego przy obciążeniu maszyny stałym momentem. Z przeprowadzonych badań wynika, że zaprojektowana maszyna nadaje się do napędów krytycznych.

*(Mój wkład własny w realizacji tego artykułu polegał na opracowaniu modelu symulacyjnego maszyny BLDC oraz wykonaniu badań symulacyjnych dla pracy napędu w stanach dynamicznych podczas przejścia z pracy dwukanałowej do pracy jednokanałowej. Przeprowadzone testy pozwoliły na ocenę zachowania się silnika przy pojawieniu się stanu awaryjnego polegającego na odłączeniu jednego kanału silnika.*

*Mój udział procentowy w tym artykule oceniam na: 30%)*

- [2] **Bogusz P.**, Korkosz M., Prokop J., *Analiza wpływu sprzężeń międzypasmowych na właściwości dwukanałowego silnika reluktancyjnego przełączalnego*, Przegląd Elektrotechniczny, nr 8/2012, str. 309-316

Tematyka artykułu dotyczy dwukanałowego silnika reluktancyjnego przełączalnego (DCSRM) o konstrukcji 12/8, który może być zastosowany do tzw. napędów krytycznych. W tego typu maszynach po uszkodzeniu jednego kanału istnieje możliwość kontynuacji pracy na drugim – nieuszkodzonym. W modelach matematycznych i symulacyjnych maszyn reluktancyjnych przełączalnych często pomija się wpływ sprzężeń międzypasmowych. W artykule przedstawiono model matematyczny maszyny reluktancyjnej przełączalnej uwzględniający wpływ sprzężeń międzypasmowych oraz przedstawiono porównanie wyników symulacji przy zastosowaniu modelu z uwzględnieniem sprzężeń międzypasmowych oraz bez ich uwzględnienia.

Badania przeprowadzono dla pracy jedno i dwukanałowej maszyny. Na podstawie uzyskanych wyników zauważono, że:

- W silniku DCSRМ o konstrukcji 12/8, pomimo pełnej symetrii budowy elektrycznej i magnetycznej silnika, na skutek różnych dróg rozplywu strumienia magnetycznego, wypadkowy kształt momentu elektromagnetycznego wykazuje pewne cechy niesymetryczności, co jest przyczyną dodatkowych pulsacji momentu w porównaniu ze zwykłym silnikiem SRM.
- Przyjęcie modelu uproszczonego silnika DCSRМ, to jest modelu uwzględniającego tylko sprzężenia pomiędzy odpowiadającymi sobie pasmami różnych kanałów, a pomijającego sprzężenia pomiędzy pasmami danego kanału jest dopuszczalne tylko w szczególnym przypadku, mianowicie założenia pełnej symetrii elektrycznej i magnetycznej budowy silnika oraz zastosowaniu takiego sterowania, które w trybie zasilania dwukanałowego zapewnia synchronizację wartości prądów odpowiadających sobie pasm obu kanałów. Założenie jednakowych prądów obu pasm kanałów A i B znacznie ogranicza zakres możliwości sterowania silników DCSRМ.
- Analiza pracy silnika DCSRМ w warunkach niesymetrii zasilania obu kanałów lub w stanach awaryjnych wymaga stosowania modeli pełnych.
- Przy pracy jednokanałowej pomijanie sprzężeń pomiędzy poszczególnymi pasmami powszechnie przyjmowane dla silnika SRM dla maszyny DCSRМ o konstrukcji 12/8 jest niedopuszczalne i model symulacyjny uproszczony nie powinien być stosowany.

*(Mój wkład własny w realizacji tego artykułu polegał na zaprojektowaniu, wykonaniu i oprogramowaniu sterownika dla silnika dwupasmowego. Opracowany sterownik dwukanałowego silnika SRM umożliwił niezależne sterowanie kanałami, co pozwalało na testowanie właściwości silnika przy zasilaniu jedno i dwukanałowym.*

*Mój udział procentowy w tym artykule oceniam na: 30%)*

Ad.5.4. Napędy z silnikami reluktancyjnymi przełączalnymi przeznaczone do zastosowań w sprzęcie AGD

- [1] **Bogusz P.**, Korkosz M., Prokop J., *Wysokoobrotowy napęd z dwupasmowym silnikiem reluktancyjnym przełączalnym*, Przegląd Elektrotechniczny, nr 10/2015, str. 252-256

W artykule przedstawiono opracowany przez autorów wysokoobrotowy napęd z dwupasmowym silnikiem reluktancyjnym przełączalnym. Silnik dwupasmowy charakteryzuje się bardzo prostą konstrukcją. W celu uzyskania możliwości rozruchu z każdego położenia, konstrukcja wirnika jest niesymetryczna. Ze względu na niesymetryczną budowę wirnika, bardzo ważne jest odpowiednie ustawienie kątów sterujących podczas rozruchu, tak aby uzyskać jak największy moment rozruchowy przy jak najmniejszym prądzie w uzwojeniach silnika. Nieodpowiednie ustawienie kątów sterujących może spowodować, że przy określonych kątach położenia wirnika silnik nie będzie wytwarzał momentu napędowego. Wyznaczenie wstępnych parametrów sterowania maszyną podczas rozruchu i normalnej pracy było możliwe dzięki badaniom symulacyjnym. Wyniki tych badań pozwoliły na opracowanie sposobu sterowania dwupasmowego wysokoobrotowego silnika SRM z zastosowaniem jednego czujnika położenia wirnika i regulacją kątów załączenia i wyłączenia. Metodę tę zaimplementowano w praktycznym układzie sterownika SRM opracowanym i wykonanym przez autora, w którym zastosowano 8-bitowy mikrokontroler. Zaletą takiego rozwiązania jest prosta konstrukcja sterownika i stosunkowo niska jego cena.

*(Mój wkład własny w realizacji tego artykułu polegał na opracowaniu metodyki sterowania dwupasmową maszyną reluktancyjną przełączalną 4/2 z niesymetrycznym wirnikiem. Na podstawie badań symulacyjnych wyznaczyłem zakres kątów sterujących, tak aby silnik ruszał z każdego położenia wirnika. W oparciu o uzyskane wyniki badań symulacyjnych i spodziewane zachowanie się silnika przy różnych prędkościach wirowania wirnika zaprojektowałem układ sterowania z zastosowaniem 8-bitowego mikrokontrolera, tak aby cena sterownika była możliwie jak najniższa. Do detekcji kąta położenia wirnika zastosowałem jeden*

*optyczny czujnik położenia. Układ pozwalał na regulację kątów sterujących powyżej prędkości 4000 obr/min na podstawie estymacji kąta położenia wirnika. Od zera do tej prędkości kąty sterujące były stałe.*

*Mój udział procentowy w tym artykule oceniam na: 80%)*

- [2] **Bogusz P.**, Korkosz M., Prokop J., *Badania laboratoryjne dwupasmowego silnika reluktancyjnego przełączalnego przeznaczonego do napędu wysokoobrotowego*, Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe Nr 1/2015, str. 137-142

W artykule przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych wysokobrotwej maszyny reluktancyjnej przełączalnej o konfiguracji 4/2 dla której zaprojektowano i wykonano pięć wirników o różnych kształtach. Cztery wirniki posiadały kształty symetryczne (o różnej rozpiętości podziałki biegunowej z lub bez skokowej szczeliny powietrznej), a piąty był niesymetryczny ze skokową szczeliną powietrzną. Dla poszczególnych wariantów maszyny wyznaczono charakterystyki statyczne momentowo-kątowe wyznaczone dla różnych wartości prądów maszyny. Z przeprowadzonych badań wynika, że wszystkie silniki z wirnikami symetrycznymi charakteryzują się podobną średnią wartością wytwarzanego momentu, natomiast silnik z wirnikiem niesymetrycznym wytwarza w porównaniu z poprzednimi nieco mniejszą wartość średnią momentu. W odróżnieniu od silników dwupasmowych z symetrycznymi wirnikami, silnik z wirnikiem niesymetrycznym charakteryzuje się momentem rozruchowym w każdym położeniu. Z tego też względu w ramach prowadzonych badań wyznaczono jego charakterystyki mechaniczne i sprawności dla różnych napięć zasilających.

*(Mój wkład własny w realizacji tego artykułu polegał na opracowaniu i wykonaniu sterownika do badanego silnika oraz przeprowadzeniu badań laboratoryjnych pozwalających określić parametry napędu.*

*Mój udział procentowy w tym artykule oceniam na: 35%)*

- [3] **Bogusz P.**, Korkosz M., Prokop J., *Studium zastosowania silnika reluktancyjnego przełączalnego w układzie napędowym robota kuchennego*, Przegląd Elektrotechniczny, nr 10/2009, str. 1-8

W artykule przedstawiono analizę wpływu grubości szczeliny powietrznej oraz danych nawojowych na parametry trójfazowego silnika reluktancyjnego przełączalnego 6/4 zaprojektowanego z niesymetrycznym obwodem magnetycznym. Niesymetria obwodu wynikała z dostosowania zewnętrznego kształtu obwodu magnetycznego stojana do obudowy stosowanej w seryjnie produkowanym silniku uniwersalnym do robota kuchennego. Do wyznaczenia charakterystyk statycznych momentowo-prądowo-kątowych dla różnych grubości szczelin powietrznych zastosowano pakiet ANSYS służący do obliczeń polowych. Z przeprowadzonych badań symulacyjnych wynika, że zmiana grubości szczeliny powietrznej pomiędzy biegunami stojana, a zębami wirnika istotnie wpływa na wartość wytworzonego momentu. Zmiana grubości szczeliny powietrznej wpływa również na zmianę indukcyjności obwodu, co jednocześnie powoduje zmianę stałej czasowej obwodu. Aby sprawdzić osiągi maszyny w określonych punktach pracy do testowania zastosowano model obwodowy napędu opracowany w systemie Matlab/Simulink. Testy przeprowadzono dla pracy silnika przy prędkościach  $\omega=200$  rad/s oraz  $\omega=1000$  rad/s. Na podstawie uzyskanych drogą symulacyjną rezultatów badań można stwierdzić jednoznacznie, że przy prędkości wirnika równej  $\omega=200$  rad/s (w obwodach uzwojeń poszczególnych pasm występuje sterowanie prądowe) wzrost grubości szczeliny powietrznej powoduje zmniejszenie się wytwarzanego momentu. Wzrost prędkości silnika do  $\omega=1000$  rad/s wymaga zwiększenia kąta wyprzedzenia zasilania uzwojenia. Z uzyskanych wyników badań można stwierdzić, że przy prędkości  $\omega=1000$  rad/s średnia wartość generowanego momentu w badanym zakresie zmian szczeliny powietrznej (tj. między 0,3 a 0,7mm) i tych samych kątach sterujących praktycznie się nie zmienia. Ze względu na niesymetryczny obwód magnetyczny stojana, aby uzyskać zbliżone parametry indukcyjności wszystkich pasm, konieczne było uzwojenie obwodu jednego pasma („niesymetrycznego”) inną liczbą zwojów od dwóch pozostałych („symetrycznych”). W efekcie jak wykazały badania laboratoryjne

kształty przebiegów indukcyjności poszczególnych pasm oraz ich wartości są do siebie zbliżone.

*(Mój wkład własny w realizacji tego artykułu polegał na opracowaniu i wykonaniu modelu symulacyjnego i przeprowadzeniu badań symulacyjnych dla ustalonych prędkości silnika. Badania zostały wykonane dla silników, które miały trzy różne grubości szczeliny powietrznej. Uczestniczyłem również w badaniach laboratoryjnych tych silników oraz analizowałem uzyskane wyniki.*

*Mój udział procentowy w tym artykule oceniam na: 25%)*

## 6. Podsumowanie

Dorobek naukowy autora od momentu uzyskania stopnia doktora nauk technicznych do dnia 24.09.2018 obejmuje łącznie **85** publikacji. W skład dorobku wchodzi jedna monografia stanowiąca główne osiągnięcie habilitacyjne autora. W czasopismach z listy *Journal Citation Report* (JCR) znajduje się **6** (**7** - z uwzględnieniem publikacji powiązanej tematycznie z monografią) opublikowanych artykułów. Sumaryczny *Impact Factor* (IF) dla publikacji autora wynosi **5,604** (**6,76** - z uwzględnieniem publikacji powiązanej tematycznie z monografią). Artykuły były publikowane w czasopismach indeksowanych na liście JCR, takich jak: *IET Electric Power Applications*, *Bulletin of the Polish Academy of Sciences - Technical Sciences*, *International Journal of Electrochemical Science*, *Open Physics*, *Przegląd Elektrotechniczny*.

Oprócz publikacji umieszczonych na liście JCR autor opublikował również **20** artykułów w czasopismach krajowych, takich jak: *Archives of Electrical Engineering*, *Przegląd Elektrotechniczny*, *Napędy i Sterowanie*, uczelnianych jak *Czasopismo Techniczne (Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej)*, czy branżowych - *Maszyny Elektryczne – Zeszyty Problemowe*. Ponadto autor brał czynny udział w konferencjach o zasięgu międzynarodowym, takich jak: *IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE)*, *IEEE International Symposium on Diagnostics for Electric Machines Power Electronics and Drives (SDEMPED)*, *International Conference on Power Electronics and Intelligent Control for Energy Conservation (Pelincec)*, *International Conference On Electrical Drives and Power Electronics (EDPE)*,

*International Symposium on Electrical Machines (SME), European Physical Journal Web of Conferences, Selected Issues of Electrical Engineering and Electronics (WZEE)*, w efekcie czego opublikował 17 artykułów. Poza konferencjami o zasięgu międzynarodowym autor czynnie uczestniczył w konferencjach o zasięgu krajowym, głównie: *Symposium Maszyn Elektrycznych (SME), Problemy Eksploatacji Maszyn i Napędów Elektrycznych- KOMEL* oraz *Sterowanie w Energoelektronice i Napędzie Elektrycznym (SENE)* na których przedstawił 41 publikacji.

Baza Web of Science Core Collection (WoS) indeksuje 28 publikacji autora, które cytowane są 32 krotnie (bez autocytowań 26 razy). **H-index** wygenerowany przez bazę WoS dla publikacji autora wynosi 2. Baza Scopus indeksuje 41 publikacji autora, które są cytowane 92 razy (bez autocytowań 51 razy). **H-index** wygenerowany przez bazę Scopus wynosi 4 przy uwzględnieniu wszystkich indeksowanych publikacji autora oraz 3 przy uwzględnieniu publikacji bez autocytowań. Liczba punktów Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego dla publikacji z procentowym udziałem autora wynosi 243,2.

Za działalność naukowo-badawczą autor był 6-krotnie nagradzany przez Rektora Politechniki Rzeszowskiej (4 nagrody zespołowe III-stopnia i po jednej zespołowej I i II stopnia).

Oprócz działalności związanej z publikowaniem swoich osiągnięć, autor brał udział w projektach badawczych. W latach 2010-2013 kierował projektem pt.: *Elektryczny układ napędowy małych obiektów mobilnych*. W wyniku prowadzonych prac zaprojektował stanowisko do badań napędów elektrycznych w zakresie pracy czterokwadrantowej przeznaczonych dla lekkich pojazdów mobilnych. Stanowisko to umożliwiło wykonywanie badań praktycznych pozwalających na ocenę proponowanych algorytmów sterowania napędami elektrycznymi. W pozostałych projektach badawczych, autor uczestniczył jako wykonawca. Projekty te dotyczyły napędów elektrycznych i hybrydowych przeznaczonych dla bezzałogowych aparatów latających, w których oprócz tematyki napędów zajmowano się elektrochemicznymi źródłami zasilania (akumulatory i ogniwa paliwowe). W ramach realizowanych projektów autor zajmował się również napędami przeznaczonymi dla urządzeń sprzętu gospodarstwa domowego w wyniku czego powstały różne wersje napędów wysokoobrotowych z silnikami reluktancyjnymi przełączalnymi.



Oprócz prac badawczych autor realizował działalność ekspercką polegającą na recenzjach artykułów, projektów badawczych czy wykonywaniu ekspertyz dla podmiotów zewnętrznych. W tej działalności autor recenzował 7 artykułów w czasopiśmie o zasięgu międzynarodowym (*IEEE Transactions on Industrial Electronics*, *IEEE Transactions on Power Electronics*, *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, *Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences*, *Archives of Electrical Engineering*) oraz 3 w czasopiśmie o zasięgu krajowym (*Przegląd Elektrotechniczny*). Ponadto recenzował 1 projekt badawczy oraz wykonał 3 ekspertyzy dla podmiotów zewnętrznych. Jest również promotorem pomocniczym jednego doktoranta w przewodzie doktorskim.

Autor w ramach pracy na Politechnice Rzeszowskiej zajmuje się również działalnością organizacyjną i popularyzatorską. Dzięki środkom finansowym z funduszy Unii Europejskiej (RPW i RPO) zorganizował i wyposażył laboratorium badawcze w Zakładzie Elektrodynamiki i Systemów Elektromaszynowych. W latach 2012-2016 był członkiem Rady Wydziału Elektrotechniki i Informatyki, a od 2010 do 2018 roku był wiceprzewodniczącym Wydziałowej Komisji Stypendialnej. Od 2016 roku jest również członkiem Wydziałowej Komisji do Spraw Jakości Kształcenia.

W działalności dydaktycznej autor prowadzi zajęcia wykładowe i/lub laboratoryjne z przedmiotów: Elektrotechnika i elektronika, Napęd elektryczny, Automatyka napędu elektrycznego, Inżynieria elektryczna w transporcie, Mikronapędy w systemach komputerowych.

<b>Zestawienie osiągnięć po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych:</b>			
<i>Opublikowane prace naukowe:</i>			Razem
Monografia habilitacyjna:		<b>1</b>	<b>1</b>
Czasopisma:	z listy JCR:	<b>6</b>	<b>26</b>
	krajowe	<b>20</b>	
Publikacje konferencyjne:	o zasięgu międzynarodowym:	<b>17</b>	<b>58</b>
	o zasięgu krajowym:	<b>41</b>	
<i>Inne osiągnięcia:</i>			
Kierowanie projektami badawczymi:		<b>1</b>	
Udział w projektach badawczych jako wykonawca:		<b>5</b>	
Członkostwo w towarzystwach naukowych:		<b>1</b>	
Nagrody Rektora Politechniki Rzeszowskiej za dorobek naukowy:		<b>6</b>	
Wykonywane ekspertyzy lub inne wykonywane na zamówienie:		<b>3</b>	
<i>Zestawienie wskaźników bibliometrycznych w dniu 24.09.2018:</i>			
Sumaryczny <i>Impact Factor (IF)</i> opublikowanych artykułów, (z publikacją wiążącą się z monografią habilitacyjną)		<b>5,604</b> , (6,76)	
<b>H-index</b> według bazy <i>WoS</i>		<b>2</b>	
Liczba cytowań publikacji autora według bazy <i>WoS</i> , (bez autocytowań)		<b>32</b> , (26)	
<b>H-index</b> wg bazy <i>Scopus</i> , (z wyłączeniem autocytowanych publikacji)		<b>4</b> , (3)	
Liczba cytowań publikacji według bazy <i>Scopus</i> , (bez autocytowań)		<b>92</b> , (51)	

  
 .....  
 podpis wnioskodawcy