

ZAŁĄCZNIK 3

Autoreferat wraz z opisem dorobku i osiągnięć naukowych

Dr inż. Adrian Młot

Wydział Elektrotechniki i Informatyki
Politechniki Opolskiej
Ul. Prószkowska 76, 45-758 Opole

Spis treści

1. Dane personalne	3
2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytuł rozprawy doktorskiej	3
3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych	3
4. Wskazanie osiągnięcia naukowego wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.):	4
4.1 Tytuł osiągnięcia naukowego	4
4.2 Publikacje lub inne prace wchodzące w skład osiągnięcia naukowego	4
4.3 Omówienie celu naukowego prac i osiągniętych wyników wraz z ich ewentualnym wykorzystaniem praktycznym	6
5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych	14
5.1 Projekty badawcze	14
5.2 Prezentacje konferencyjne i prezentacje wygłoszone w jednostkach badawczych	17
5.3 Podsumowanie najważniejszych wyników badań naukowych na podstawie projektów badawczych dotyczących tematyki monotematycznego cyklu publikacji pt. „Analiza i synteza maszyn elektrycznych w napędach pojazdów elektrycznych i hybrydowych”	18
5.4 Recenzje prac naukowych	22
5.5 Nagrody i wyróżnienia	22
5.6 Prace organizacyjne	22
5.7 Najważniejsze wyniki badań naukowych na podstawie artykułów i projektów badawczych nie wchodzących w skład tematyki monotematycznego cyklu publikacji niniejszego wniosku	23
6. Podsumowanie	24
7. Autoreferat	25



1. Dane personalne

Imię i nazwisko: Adrian Młot
Data i miejsce urodzenia: 01.06.1978, Opole
Miejsce zatrudnienia: Politechnika Opolska

Pełne dane personalne Habilitanta zestawiono w załączniku 2.

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytuł rozprawy doktorskiej

Magister inżynier, Politechnika Opolska, 1999.

Doktor nauk technicznych. Dziedzina nauki: Nauki Techniczne. Dyscyplina naukowa: Elektrotechnika. Specjalność: Maszyny Elektryczne. Stopień nadany uchwałą Rady Wydziału Elektrycznego Politechniki Opolskiej w dniu 11.10.2007 na podstawie rozprawy pt. „Konstrukcyjne metody ograniczania pulsacji momentu elektromagnetycznego w bezszczotkowym silniku prądu stałego z magnesami trwałymi”.

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

Od 2003 do 2007 zatrudniony na stanowisku asystenta w Politechnice Opolskiej na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki.

Od 2007 do 2008 zatrudniony na stanowisku adiunkta w Politechnice Opolskiej na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki.

Od 10.2008 do 10.2009 zatrudniony na stanowisku Visiting Researcher w University of Bristol, Department of Electrical and Electronic Engineering, Anglia.

Od 10.2009 do 02.2013 zatrudniony na stanowisku Assistant Professor w University of Bristol, Department of Electrical and Electronic Engineering, Anglia.

Od 02.2013 do 09.2016 zatrudniony na stanowisku Electromagnetic Designer w GKN EVO eDrive Systems Ltd, Anglia.

Od 10.2016 do 08.2017 zatrudniony na stanowisku Electric Motor Designer w YASA Motors Ltd, Anglia.

Od 10.2017 do chwili obecnej zatrudniony na stanowisku Adiunkta w Politechnice Opolskiej w Instytucie Systemów napędowych i Robotyki, Katedra Maszyn Elektrycznych.



4. Wskazanie osiągnięcia naukowego wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.):

4.1 Tytuł osiągnięcia naukowego

W niniejszym załączniku zawarto podsumowanie wyników badań naukowych dotyczących jednotematycznego cyklu publikacji nt. „**Analiza i synteza maszyn elektrycznych w napędach pojazdów elektrycznych i hybrydowych**”. Cykl ten łącznie zawiera 10 publikacji.

Przedstawiono również opis pełnego dorobku i osiągnięć naukowych habilitanta. Ponadto zestawiono zakres współpracy habilitanta z krajowymi i zagranicznymi ośrodkami naukowymi.

Numeracja publikacji zawarta w poniższych zestawieniach jest zgodna z kompletną listą publikacji zawartą w Załączniku 4.

4.2 Publikacje lub inne prace wchodzące w skład osiągnięcia naukowego

Lista artykułów wybranych do jednotematycznego cyklu publikacji pt. „**Analiza i synteza maszyn elektrycznych w napędach pojazdów elektrycznych i hybrydowych**”

Lp.	Publikacja	Cytowania w bazie Web of Science	Impact factor	Punktacja MNiSW	Udział procentowy
1	Młot A., Lukaniszyn M., <i>Analysis of axial flux motor performance for traction motor application</i> , <i>Compel - The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering</i> , COMPEL, Issue 38/4, 2019 (Accepted for publication).	-	0.534	15 Lista A	90%
3	Młot A., A.C. Malloy, M. Korkosz, M. Lampérth, <i>Electromagnetic review of rotor/stator misalignment in permanent magnet axial-flux motor</i> , <i>Analysis Simulations of Electrical and Computer Systems</i> , Book Series: Lecture Notes in Electrical Engineering, Springer, Vol. 452, pp. 53-69, 2018. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-63949-9_4	-	-	15	70%
5	Młot A., M. Lukaniszyn, M. Korkosz, <i>Analysis of end-winding proximity losses in a high-speed PM machine</i> , <i>Archives of Electrical Engineering</i> , AEE, Vol. 65(2), pp. 249-261, 2016.	1	-	10 Lista B	80%
6	Młot A., M. Lukaniszyn, M. Korkosz, <i>Magnet loss analysis for a high-speed PM machine with segmented PM and modified tooth-tip shape</i> , <i>Archives of Electrical Engineering</i> , AEE, Vol. 65(4), pp. 671-683, 2016. DOI:	3	-	10 Lista B	60%

11	Młot A. , M. Korkosz, M. Lukaniszyn, <i>Investigation of end-winding proximity losses in a high-speed PM machine</i> , Analysis and Simulation of Electrical and Computer Systems, Book Series: Lecture Notes in Electrical Engineering, Springer, Vol. 324, pp. 171-186, 2015.	1	-	15	70%
18	Młot A. , M. Korkosz, P. Grodzki, M. Lukaniszyn, <i>Analysis of the proximity and skin effects on copper loss in a stator core</i> , Archives of Electrical Engineering, AEE, Vol. 63(2), pp. 211-255, 2014.	-	-	10 Lista B	50%
15	Wrobel R., Goss J., Młot A. , Mellor P.H., <i>Design considerations of a brushless open-slot radial-flux PM hub motor</i> , IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 50, pp. 1757-1767, 2014	19	1.756	40 Lista A	25%
19	Młot A. , M. Korkosz, P. Grodzki, M. Łukaniszyn, <i>Wpływ efektu zbliżeniowego i naskórkowości na straty mocy w tworniku</i> , Przegląd Elektrotechniczny, Nr. 12, s. 44-48, 2013.	-	-	10 Lista B	60%
28	R. Wrobel, A. Młot , P.H. Mellor, <i>Contribution of end-winding proximity losses to temperature variation in electromagnetic devices</i> , IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 59, issue 2, pp. 848-857, 2012.	56	3.481	32 Lista A	33%
40	A. Młot , M. Lukaniszyn, <i>Torque characteristics of a BLDC motor with multipolar excitation</i> , Compel – The International Journal for Computation and Mathematic in Electrical and Electronic Engineering, Vol. 28, pp. 178-187, 2009.	2	0.46	10 Lista A	90%

Ocenę naukową publikacji na podstawie jednotematycznego cyklu publikacji pt. **”Analiza i synteza maszyn elektrycznych w napędach pojazdów elektrycznych i hybrydowych”** zawarto poniżej.

Sumaryczny impast factor na podstawie załączonej listy artykułów wybranych do jednotematycznego cyklu publikacji, Journal Citation Reports (JCR) – 7.915

Sumaryczna punktacja Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego (MNiSW) na podstawie załączonej listy artykułów wybranych do jednotematycznego cyklu publikacji - 137

Sumaryczna liczba cytowań na podstawie załączonej listy artykułów wybranych do jednotematycznego cyklu publikacji, Web of Science (WoS) - 82

Index Hirscha (h-index) na podstawie załączonej listy artykułów wybranych do jednotematycznego cyklu publikacji, Web of Science (WoS) - 3

4.3 Omówienie celu naukowego prac i osiągniętych wyników wraz z ich ewentualnym wykorzystaniem praktycznym

Zaprezentowane przez habilitanta wyniki badań naukowych i projektów rozwojowych mają duże znaczenie społeczne i środowiskowe, w szczególności w zakresie wdrażania nowych technologii silników elektrycznych o dużej gęstości mocy wyjściowej i przetworników elektromechanicznych. Udział habilitanta w projektach badawczych dotyczył maszyn elektrycznych o innowacyjnych konstrukcjach wirników oraz stojanów, a także zastosowanych uzwojeń o prostokątnym przekroju i nowym sposobie ich montażu w przestrzeni żłobkowej. Maszyny te są używane w takich aplikacjach jak pojazdy elektryczne, pojazdy hybrydowe, przemysł lotniczy i turbiny wiatrowe. Używanie silników i generatorów do wymienionych aplikacji pociąga za sobą dbanie o stan środowiska naturalnego. Drastyczny wzrost zapotrzebowania na czystsze i bardziej sprawne przetwarzanie energii w przemyśle samochodowym, wiatrowym czy lotniczym prowadzi do spostrzeżeń w zakresie konstruowania maszyn elektrycznych o dużej mocy i sprawności. W maszynach tych duży nacisk stawia się na:

- projektowanie silników elektrycznych o wysokiej gęstości mocy i podwyższonej niezawodności;
- wysoką sprawność silnika nie tylko w przedziale powyżej tzw. prędkości bazowej (zakres stałej mocy), ale i również poniżej prędkości znamionowej (zakres stałego momentu elektromagnetycznego);
- zwiększenie momentu elektromagnetycznego przy małych prędkościach obrotowych (w zależności od wymagań), a jednocześnie szeroki zakres regulacji prędkości obrotowej w zakresie osłabiania pola wzbudzenia (*ang. field weakening*) poprzez obniżenie prędkości znamionowej;
- wdrażanie metod zabezpieczenia magnesów trwałych przed odmagnesowaniem w stanach awaryjnych tj. w stanach zwarcia uzwojeń maszyny elektrycznej;
- zmniejszenie wpływu oddziaływania pola magnetycznego na sąsiednie przewodniki miedziane w (tzw. proximity effect) silnikach elektrycznych pracujących przy wysokich częstotliwościach i dużych obciążeniach prądowych (efekt ten wpływa na znaczny wzrost prądów wirowych w uzwojeniach maszyny elektrycznej);
- redukcję wibracji i hałasu;
- obniżeniu kosztów budowy silnika a jednocześnie zmniejszenie jego wagi i strat mocy w rdzeniach wirnika i stojana;
- uwzględnienie aspektu środowiskowego w projektowaniu, co oznacza zmniejszenie wymiarów silnika, ilości materiałów zużywanych podczas produkcji oraz koszty ich utylizacji;
- analiza wytrzymałościowa i cieplna.

Powyższe zagadnienia i badania naukowe stanowiły najważniejsze cele pracy habilitanta w trakcie projektowania i optymalizacji silników elektrycznych i przetworników elektromechanicznych. Efektem końcowym tych badań było opracowywanie nowych

koncepcji budowy silników i generatorów o poprawionych parametrach użytkowych, a także definiowanie nowych podejść projektowych i optymalizacji.

Aktualnie silniki elektryczne w zastosowaniach w pojazdach elektrycznych i hybrydowych (samochody osobowe, autobusy, ciężarówki, auta sportowe) wymagają nowoczesnych metod projektowania z użyciem zaawansowanych technik numerycznych i z uwzględnieniem odpowiednich procesów optymalizacyjnych. Silniki te muszą być zdolne do pracy w różnych warunkach eksploatacyjnych, tak aby były spełnione konkretne normy niezawodności i zużycia energii pojazdów elektrycznych i hybrydowych. Dlatego też badane silniki były objęte weryfikacją działania opracowanego prototypu (w wstępnej fazie bez zabudowania silnika w pojeździe) poddając go testom na hamowni, gdzie symulowano warunki obciążeniowe występujące w warunkach drogowych. Normy te są określane przez Economic Commission for Europe. W normach tych można odnaleźć różne cykle jezdne tzw. Driving Cycle (DC) mówiące o energochłonności cykli jazdy wynikającej m.in. z ukształtowania terenu, po którym będzie poruszał się pojazd elektryczny. Silnik elektryczny musi być tak zaprojektowany aby w trakcie pracy przy różnych DC nie została w nim np. przekroczona temperatura pracy w poszczególnych elementach silnika. Dlatego też już na etapie wstępnego projektowania w odniesieniu do aplikacji w pojazdach elektrycznych i hybrydowych wymaga się wykonania dokładnych analiz pola elektromagnetycznego, analiz temperaturowych oraz sił magnetycznych oddziałujących na poszczególne elementy silnika. Bardzo często podejścia te nie są analizowane łącznie. Bazując na przeglądzie literatury oraz własnych doświadczeniach, habilitant włączył te zagadnienia na wstępnych etapach projektowania maszyn elektrycznych i przetworników elektromechanicznych. Podejście takie pozwoliło uzyskać optymalne rozwiązania parametrów użytkowych maszyn elektrycznych.

Wspomniane wcześniej zagadnienia naukowe, determinowane przez rynek samochodowy uwzględniając prawa i dyrektywy UE, stanowiły przez ostatnie 8 lat główne zagadnienia badawcze Habilitanta. Dlatego podstawowym zainteresowaniem autora wniosku była maksymalizacja sprawności trójfazowych synchronicznych silników elektrycznych o dużej gęstości momentu i mocy przy jednoczesnym zwiększeniu żywotności maszyny elektrycznej w zespołach napędowych. Silniki takie zbudowane były z jednego rdzenia wirnika z magnesami trwałymi, umieszczonego pomiędzy dwoma stojanami (wykonanymi z blach) lub z jednego segmentowego rdzenia stojana wykonanego ze spiekane go ferromagnetycznego proszku umieszczonego pomiędzy dwoma tarczami wirnika. Konstrukcje „dyskowe” tych silników stosowane np. w pojazdach elektrycznych lub hybrydowych są dużą zaletą w aplikacjach gdzie przestrzeń pomiędzy silnikiem spalinowym a skrzynią biegów jest ograniczona. Konieczność uzyskania małej masy silnika oraz kompaktowej budowy wymusza zastosowanie odpowiednich technik projektowania silnika.

Takie wymogi zdeterminowały przyjęcie przez habilitanta odpowiedniego podejścia naukowego. Habilitant wskazał w swoich pracach badawczych, że połączenie ze sobą symulacji pola elektromagnetycznego z polem cieplnym (tj. zmiana własności materiałowych elementów silnika pod wpływem zmiany temperatury pracy silnika) są niezmiernie ważne dla stworzenia systemu obliczeniowego gwarantującego w odpowiednio szybkim czasie sprostać wymogom stawianym przez przemysł oraz wytworzenia prototypów o pożądanym

własnościach eksploatacyjnych. Dzięki doświadczeniu habilitanta, w jednostkach naukowo – badawczych takich jak GKN Evo i YASA Motors, habilitant opracował skrypty obliczeniowe oparte na równaniach analityczno-empirycznych do projektowania silników ze strumieniem osiowym z możliwością pełnej analizy parametrów użytecznych silnika przy uwzględnieniu wpływu zmiany temperatury pracy elementów silnika na jego sprawność i ryzyko odmagnesowania magnesów. Taka kompleksowa analiza maszyny elektrycznej już na etapie projektowania skutkowała wyższą użytecznością i zwiększoną niezawodnością zbudowanych prototypów bez konieczności ich dalszych modyfikacji w celu poprawy ich potencjalnych słabych punktów pracy. Przy pomocy użytych skryptów udało się np. określić pożądany kształt magnesów trwałych co skutkowało obniżeniem o ponad 60% niepożądanych składników momentu elektromagnetycznego i zwiększyć tym samym wytrzymałość mechaniczną łożysk przedłużając żywotność napędu. Moment zaczepowy zredukowano z 0.75Nm do 0.3Nm. Wykazano również, że składowe harmoniczne rzędu 24, 48 i 72, które pojawiają się w przebiegu momentu zaczepowego (składowe momentu zaczepowego wyznaczone na podstawie jednego pełnego obrotu wirnika tj. 360° mechanicznych) są wywołane niesymetrycznym rozmieszczeniem magnesów trwałych na wirniku (niesymetryczne rozmieszczenie magnesów wynikało z tolerancji montowanych magnesów tj. max. przesunięcie magnesu ok. 0.25mm od wymaganego położenia).

Wspomniane powyżej aspekty i wyzwania projektowe zostały zebrane w cykl publikacji i powiązane tematycznie pod wspólnym tytułem: „Analiza i synteza maszyn elektrycznych w napędach pojazdów elektrycznych i hybrydowych”. Cykl ten zawiera łącznie 10 prac. W publikacjach tych habilitant podjął wyzwanie związane z zmniejszeniem ryzyka awaryjności elementów maszyny elektrycznej poprzez zmianę obwodu magnetycznego tak aby zminimalizować siły osiowe działające na łożyska silnika, zmniejszyć harmoniczne momentu zaczepowego i harmoniczne siły elektromotorycznej, ograniczyć wpływ oddziaływania na siebie nawzajem pól magnetycznych wytworzone przez przewodniki miedziane uzwojeń maszyny elektrycznej. Działania te pozwoliły zbadać i konstruować nowe rodzaje maszyn elektrycznych o zmniejszonych stratach w żelazie oraz miedzi a także znacznie zmniejszyć ryzyko przegrzewania się elementów maszyny elektrycznej. Do takich nowych rozwiązań konstrukcyjnych można zaliczyć np. niesymetryczne ułożenie magnesów trwałych na dysku rdzenia wirnika, trapezoidalny kształt magnesów trwałych o odpowiednio naciętych krawędziach, zastosowanie uzwojenia o przekroju poprzecznym prostokątnym umieszczonego krótszą krawędzią przekroju drutu w kierunku do zęba stojana, zastosowanie segmentowego bez jarzmowego stojana wykonanego z sproszkowanego spiekanego żelaza, zaprojektowanie odpowiedniego kształtu nabiegunników stojana, zaprojektowanie segmentowej budowy magnesu trwałego. Najważniejszym celem opracowania tych technik było sprostanie wymaganiom przemysłu, np. w odniesieniu do uzyskania maksymalnej sprawności energetycznej [6, 18, 19, 40], zbadania tych elementów, które mogą przyczynić się do niepożądanych właściwości przetwornika i wskazaniu metod ograniczenia ich wpływu [1, 3, 5, 6, 11, 18, 19, 28, 40], czy też obniżeniu kosztów produkcji [15]. Topologia konstrukcji większości badanych maszyn elektrycznych posiadała zastąpiony tradycyjny ferromagnetyczny rdzeń wirnika rdzeniem nieferromagnetycznym lub też zastosowaniem konstrukcji silnika bezjałmowej, tzn. zastosowano wewnętrzny stojan zbudowany z

segmentów na których nawinięto cewki. W celu zwiększenia sprawności silników do budowy rdzeni wirnika i stojana silnika użyto sproszkowanego żelaza. Konstrukcje te pozwoliły na znaczne obniżenie masy silnika i jego wymiarów.

ad. [15] Wrobel R., Goss J., **Młot A.**, Mellor P.H., *Design considerations of a brushless open-slot radial-flux PM hub motor*, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 50, pp. 1757-1767, 2014

ad. [40] **A. Młot**, M. Lukaniszyn, *Torque characteristics of a BLDC motor with multipolar excitation*, Compel – The International Journal for Computation and Mathematic in Electrical and Electronic Engineering, Vol. 28, pp. 178-187, 2009.

Wstępne etapy projektów badawczych wymagają dużego doświadczenia we wskazaniu lub określeniu topologii silnika, która może spełnić stawiane wymagania. Następnie powinno się wskazać strefy obwodu magnetycznego przetwornika, które będą ulegać modyfikacji lub optymalizacji w celu poprawy parametrów użytkowych maszyny i jej żywotności. W pracach [15, 40] zobrazowano najważniejsze elementy projektowania, na które należy zwrócić uwagę w celu wybrania odpowiedniego obwodu magnetycznego np. silnika elektrycznego o wysokiej gęstości momentu elektromagnetycznego. W pracy [15] zaprezentowano wpływ zmiany wymiaru średnicy zewnętrznej jarzma wirnika, grubości szczeliny powietrznej, grubości magnesów trwałych, wysokości żłobka, szerokości zęba i grubości jarzma stojana na straty mocy oraz na masę poszczególnych elementów silnika. W pracy tej Habilitant zbadał wpływ zmiany rozmiaru przekroju poprzecznego przewodników miedzianych uzwojenia i sposobu ich ułożenia w żłobkach silnika na straty mocy w uzwojeniu uwzględniając efekt naskórkowy i efekt zbliżenia przewodów. Wyniki tej pracy pozwalają ukierunkować drogę poszukiwań konstrukcji silnika, która powinna charakteryzować się niskimi stratami dodatkowymi. W kolejnej pracy [40] pokazano wpływ zmiany kierunku magnesowania magnesów trwałych na charakterystykę kątową momentu elektromagnetycznego i jego pulsacje, a także na tzw. moment zaczepowy. W zależności od wymagań, które są stawiane przed projektowaną maszyną, niezbędne jest określenie rodzaju magnesu trwałego oraz jego sposobu magnesowania definiując precyzyjnie jego kierunek w celu uzyskania odpowiedniego kształtu indukcji magnetycznej w szczeliny powietrznej. W pracy tej pokazano jak bardzo istotne jest dobranie odpowiedniego kierunku magnesowania magnesów trwałych na redukcję pulsacji momentu elektromagnetycznego oraz momentu zaczepowego. Obniżono moment zaczepowy z 0.79Nm do 0.11Nm przy jednoczesnym podwyższeniu momentu elektromagnetycznego o około 13%. Współczynnik pulsacji momentu elektromagnetycznego zmniejszono z 49.98% do 15.21%.

Zwiększenie sprawności maszyny elektrycznej możliwe jest po przez obniżenie strat mocy w uzwojeniu zasilonym napięciem o wysokiej częstotliwości i dużych obciążeniach prądowych. Habilitant przedstawił w pracach [5, 11, 18, 19, 28] dodatkowe sposoby ograniczania strat mocy w uzwojeniach miedzianych zasilanych prądem zmiennym przy wysokiej częstotliwości. W kolejnych pracach badano także wpływ zmiany rozmiaru przewodników miedzianych i zmianę konstrukcji magnetowodu maszyn elektrycznych na wartość gęstości prądów wirowych w przewodnikach miedzianych oraz uzwojeniu i w rdzeniu wirnika oraz w rdzeniu stojana.



ad. [28] R. Wrobel, **A. Mlot**, P.H. Mellor, *Contribution of end-winding proximity losses to temperature variation in electromagnetic devices*, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 59, issue 2, pp. 848-857, 2012.

Wykonanie dokładnych obliczeń wiropądowych w przewodnikach jest wyjątkowo trudnym zagadnieniem. Straty te w dużym stopniu są uzależnione od położenia przewodnika w polu magnetycznym (np. w żłobku stojana). Wzajemne oddziaływanie pola magnetycznego i pola elektrycznego powoduje, że prądy wirowe płynące w przewodzie w przeciwnym kierunku względem prądu głównego redukują wartość pola magnetycznego oraz zmieniają wypadkową gęstość prądu. Dodatkowo pole to oddziałuje na przewodniki sąsiednie, wnikając do nich jako fala elektromagnetyczna, indukując na powierzchni sąsiednich przewodników prądy oraz zwiększając wartość przepływającego prądu. W pracy [28] Habilitant przedstawił modele polowe do badań prądów wirowych. Analizowano zjawisko naskórkowe oraz efekt zbliżeniowy. Do tego celu habilitant zbudował modele 2-D i 3-D bazujące na metodzie elementów skończonych. W celu uzyskania dokładnego odwzorowania położenia przewodników miedzianych w odniesieniu do prototypu, zastosowano prostokątny przekrój zwoju. Uzyskano wysoką zgodność wyników pomiarów z obliczeniami. Zbadano nie tylko wartość strat mocy w poszczególnych przewodnikach uzwojenia przy wysokiej częstotliwości zasilania, ale również wpływ połączeń czołowych na straty mocy w miedzi. Udało się poznać i pokazać zmianę rozkładu prądów wirowych dla każdego przewodnika z osobna, wskazując na te elementy przetwornika narażonego na największe straty mocy i wzrost temperatury. Uzyskane wyniki pokazały, że połączenia czołowe mogą generować znaczne straty i wpływać na zmianę pola magnetycznego w rdzeniu stojana czy też na przewodniki miedziane umieszczone w żłobku.

ad. [5] **Mlot A.**, M. Lukaniszyn, M. Korkosz, *Analysis of end-winding proximity losses in a high-speed PM machine*, Archives of Electrical Engineering, AEE, Vol. 65(2), pp. 249-261, 2016.

ad.[11] **Mlot A.**, M. Korkosz, M. Lukaniszyn, *Investigation of end-winding proximity losses in a high-speed PM machine*, Analysis and Simulation of Electrical and Computer Systems, Book Series: Lecture Notes in Electrical Engineering, Springer, Vol. 324, pp. 171-186, 2015.

W kolejnych pracach [5, 11] autor wniosku habilitacyjnego kontynuował badanie wpływu efektu zbliżeniowego na straty mocy w połączeniach czołowych w wysokoobrotowych silnikach synchronicznych z magnesami trwałymi, pracujących przy częstotliwościach do 800Hz. W pracach tych pokazano wpływ błędów obliczeń numerycznych na interpretację wyników. Okazuje się, że analiza numeryczna prądów wirowych w uzwojeniach o przekroju kołowym (bardzo często umieszczanych losowo w żłobku - na etapie nawijania uzwojenia) jest niezmiernie trudna i niemalże niemożliwa do odwzorowania w polowym modelu numerycznym. Ze względu na brak dokładności odwzorowania położenia każdego przewodnika uzwojenia w modelu polowym w odniesieniu do zbudowanych prototypów, inżynierowie pomijali tego typu obliczenia dokonując najczęściej analizy 2-D z brakiem odwzorowania położenia każdego zwoju uzwojenia. Takie wyniki niejednokrotnie były obarczone błędem do 50% [11]. W pracach [5, 11] oryginalnym osiągnięciem Habilitanta było zbudowanie modelu referencyjnego w postaci segmentu stojana z cewką o przekroju

okrągłym, tak aby istniała możliwość odwzorowania go w modelu polowym z każdym przewodnikiem umieszczonym w żłobku i traktowanym osobno. Dzięki temu udało się pokazać wpływ losowego umieszczania zwojów w żłobku na straty mocy w silniku oraz określić jakie wartości duże prądów wirowych są generowane w przewodnikach o przekroju kołowym. Techniczne problemy i sposób budowy cewki o kołowym przekroju zwoju, który jest łatwiejszy do odwzorowania w modelu obliczeniowym pokazano w pracy [5]. Sformułowano istotne wnioski na temat efektu zbliżeniowego jaki może się pojawić w silnikach o uzwojeniach skupionych i rozłożonych gdzie każdy zwój będzie posiadał przewody losowo umieszczone w żłobku. Okazuje się, że losowe umieszczenie przewodów jest bardziej zalecane niż ich równomierne umieszczanie względem siebie. Korzystnym rozwiązaniem, w odniesieniu do redukcji prądów wirowych w odniesieniu do tradycyjnego uzwojenia z kołowym przekrojem drutów, będzie zastosowanie przewodników z przekrojem prostokątnym. Również w tym przypadku umieszczenie przewodników we właściwym miejscu żłobka gwarantuje znaczną redukcję strat mocy w miedzi.

ad. [18] **Młot A.**, M. Korkosz, P. Grodzki, M. Łukaniszyn, *Analysis of the proximity and skin effects on copper loss in a stator core*, Archives of Electrical Engineering, AEE, Vol. 63(2), pp. 211-255, 2014.

ad. [19] **Młot A.**, M. Korkosz, P. Grodzki, M. Łukaniszyn, *Wpływ efektu zbliżeniowego i naskórkowości na straty mocy w tworniku*, Przegląd Elektrotechniczny, Nr. 12, s. 44-48, 2013.

Zadawalającą dokładność wyników obliczeń strat mocy w miedzi przy wysokich częstotliwościach udało się uzyskać także na przykładzie rdzenia stojana silnika reluktancyjnego ze zwojami o przekroju kołowym [18, 19]. W tym przypadku posłużono się metodyką budowy uzwojenia jaką Habilitant wskazał w pracy [5]. Podejście to umożliwiło wykonanie pomiarów zmiany stosunku rezystancji uzwojenia R_{ac}/R_{dc} w funkcji częstotliwości wysoką dokładnością. Dokładny bilans strat mocy w miedzi i w żelazie przy wysokiej częstotliwości zasilającej cewkę silnika przedstawiono w pracy [19]. Natomiast w pracy [18] wskazano przestrzeń żłobka, w której przewodniki miedziane będą generować najmniejsze straty mocy, pokazano także te przewodniki, które są najbardziej narażone na straty cieplne. Wnioski i uwagi Habilitanta pozwalają wskazać miejsca w obwodzie magnetycznym silnika, które należałoby chłodzić w celu zminimalizowania strat mocy i zwiększyć tym samym sprawność silnika. Habilitant wskazał też możliwość zamiany uzwojenia silnika z przewodami o przekroju kołowym na przewodniki o przekroju prostokątnym. Zbadano także wpływ sposobu usytuowania takich przewodników względem nabiegunków rdzenia stojana. Udowodniono, że proponowane rozwiązania sprzyjają zminimalizowaniu efektu zbliżeniowego i obniżeniu temperatury pracy.

ad. [6] **Młot A.**, M. Łukaniszyn, M. Korkosz, *Magnet loss analysis for a high-speed PM machine with segmented PM and modified tooth-tip shape*, Archives of Electrical Engineering, AEE, Vol. 65(4), pp. 671-683, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1515/ae-2016-0047>.

W kolejnej pracy [6] przedstawiono analizę strat mocy w magnesach trwałych. Straty te rosną wraz ze wzrostem częstotliwości pola magnetycznego w sposób wykładniczy. Przy dużych prędkościach obrotowych wirnika ryzyko odmagnesowania magnesów jest także bardzo

duże. Do efektywnych metod redukcji strat mocy w magnesach należy segmentacja magnesów. W zależności od budowy silnika można zastosować segmentację równoległą (zwaną też promieniową) i segmentację osiową lub też zastosować obydwie metody jednocześnie. Habilitant zbadał zalety i wady stosowania tych metod na przykładzie silnika wysokoobrotowego używanego w aplikacjach pojazdów elektrycznych i hybrydowych. Ze względów ekonomicznych wskazano optymalną liczbę segmentów gwarantującą zadawalającą redukcję strat mocy w magnesach (redukcja strat mocy w magnesach do 84% w zależności od stanu pracy silnika). Ponadto autor wniosku zbadał wpływ zmiany prądów wirowych na stany awaryjne, tj. stany zwarć uzwojeń silnika dla różnych metod segmentacji magnesów. W pracy również zwrócono uwagę, że optymalnie przyjęta liczba segmentów (ze względów ekonomicznych i wytrzymałościowych mechanicznie) może ciągle generować duże prądy wirowe i jego dalsza redukcja będzie istotna w celu zwiększenia mocy maszyny elektrycznej. Dlatego też w pracy [6] zbadano inne metody redukcji prądów wirowych w magnesach przy zastosowaniu tj., za pomocą modyfikacji kształtu zęba stojana, wskazując na korzystną zmianę kształtu nabiegownika zęba stojana. Modyfikacje te pozwalają na zwiększenie mocy maszyny elektrycznej dzięki znacznemu obniżeniu prądów wirowych w magnesach (redukcja strat mocy w magnesach do 65% w zależności od stanu pracy silnika). Ponadto pokazano, że stosując obydwie techniki tj. segmentację magnesów i kształt nabiegownika zęba stojana istnieje możliwość zmniejszenia również straty mocy w rdzeniu silnika (redukcja strat mocy do 21% w zależności od stanu pracy silnika).

ad. [3] **Młot A.**, A.C. Malloy, M. Korkosz, M. Lampérth, *Electromagnetic review of rotor/stator misalignment in permanent magnet axial-flux motor*, Analysis Simulations of Electrical and Computer Systems, Book Series: Lecture Notes in Electrical Engineering, Springer, Vol. 452, pp. 53-69, 2018. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-63949-9_4.

W kolejnych pracach [3, 1] autor wniosku wskazał, że uwzględnienie badań wpływu tolerancji dokładności montażu elementów stojana i wirnika jest bardzo ważne w projektowaniu maszyn elektrycznych. Znajomość wyników tych badań pozwala na uniknięcie nieoczekiwanych zmian wartości istotnych parametrów silnika takich jak stała napięciowa, stała momentu elektromagnetycznego, pulsacji momentu. Należy mieć świadomość, że z upływem czasu użytkowania silników elektrycznych stosowanych w pojazdach elektrycznych, silniki takie są wystawione na przeciążenia mechaniczne i na zmiany środowiskowe, co może mieć istotny wpływ na deformacje elementów silnika prowadzące do pogorszenia własności silnika. Wiedza dotycząca wpływu zmiany położenia np. magnesów, segmentów stojana na skutek niedokładności montażu, pociąga za sobą konieczność wdrażania dodatkowych zabezpieczeń konstrukcyjnych związanych z wydłużeniem czasu żywotności silnika. Aktualnie liczba prac naukowych dotyczących wpływu tolerancji montowanych elementów silników (do aplikacji pojazdów elektrycznych i hybrydowych) na jego parametry użyteczne jest niewielka. Autor wniosku badał dwa najważniejsze przypadki z jakimi można spotkać w trakcie montażu elementów silnika o mocy 64kW. W pracy [3] na przykładzie silnika ze strumieniem osiowym z dwoma stojanami i o jednym wirniku zbadano szczegółowo wpływ przesunięcia osiowego wirnika oraz przesunięcia względem siebie stojanów. Omówiono i wyjaśniono wpływ tych przesunięć na zmianę indukcji magnetycznej w szczelinie powietrznej i na zmianę przebiegów prądowych i

napięciowych w uzwojeniu. Udowodniono, że wpływ tolerancji montowanych elementów lub ich niedokładny montaż prowadzi do nie symetrycznego rozptyłu prądów czy też nierównych napięć w uzwojeniach obydwu stojanów. Będzie to prowadzić do niezrównoważonych sił magnetycznych, a tym samym, do zwiększenia obciążenia na łożyskach silnika. To z kolei doprowadzi do skrócenia żywotności maszyny elektrycznej. W pracy [3] pokazano, że przesunięcie wirnika w kierunku osi wału silnika o mocy 64kW powoduje wzrost sił osiowych nawet o 1400N. Przesunięcie wirnika spowodowało także wzrost momentu zaczepowego oraz straty mocy w żelazie stojana. Ponadto zmiana strat mocy w silniku prowadzi do nierównomiernych rozkładów temperatur w jego elementach. W przypadku niewspółosiowości stojanów silnika dochodzi do nierównomiernych wartości prądów w uzwojeniach stojanów oraz przesunięć fazowych napięć generowanych w uzwojeniach. Do pozytywnych własności niewspółosiowości rdzeni stojanów zaliczyć można zmniejszenie się momentu zaczepowego z 1.3Nm do 0.28Nm i tym samym obniżenie pulsacji momentu elektromagnetycznego z 7.77% do 6.04%. Wykonane badania wpływu niesymetrii obwodu magnetycznego rdzenia wirnika i stojana silnika AFM na jego charakterystyki ogólne i obciążeniowe pozwoliło na wyselekcjonowanie tych niesymetrii, które mają negatywny wpływ na pracę silnika.

ad. [1] **Młot A.**, Lukaniszyn M., *Torque assessment of axial flux motor performance for automotive application*, *Compel - The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering, COMPEL*, Issue 38/4, 2019 (Accepted for publication).

Ostatnia praca [1] z cyklu dotyczy zestawienia wykonanych pomiarów charakterystyk silników elektrycznych ze strumieniem osiowym w trakcie ich eksploatacji w warunkach laboratoryjnych. Silniki były poddawane cyklicznym testom, które były powtarzane z upływem czasu. Pokazano, że pozornie identyczne maszyny elektryczne zbudowane na tym samym stanowisku montażowym, charakteryzowały się różnymi parametrami. Wynioskowano, że przyczyną tych zmian może być tolerancja montowanych elementów silnika tj. magnesów, stojanów. Kolejne testy nowej serii silników, zbudowanych przy użyciu poprawionych technik montażu, udowodniły poprawność założonych tez. Serie wykonanych pomiarów na dziesiątkach maszyn elektrycznych pozwoliły na wskazanie ich słabych punktów w odniesieniu do zastosowanych technik projektowania. Oryginalność i innowacyjność pracy [1] polega na zestawieniu czasochłonnych pomiarów jako zbioru badań zaplanowanych przez okres kilku miesięcy. Aktualnie bardzo trudno odnaleźć literaturę, która ujmowałaby takie badania, dlatego też badania te stanowią oryginalny wynik pracy badawczej.

Podsumowanie

Badania naukowe zawarte w cyklu prac monotematycznych odnoszą się przede wszystkim do poprawy metodyki projektowania maszyn elektrycznych w celu poprawy ich sprawności i zwiększenia mocy. Do najważniejszych osiągnięć naukowych autor wniosku zalicza:

- wskazanie metod utrzymania mocy silnika i sprawności maszyny elektrycznej na pożądanym poziomie przy zwiększonej żywotności silnika elektrycznego,
- zbadanie wpływu tolerancji dokładności montażu poszczególnych elementów silnika na jego parametry użyteczne i uwzględnienie tych obliczeń we wstępnej fazie projektowania silnika elektrycznego,
- implementacja zmiany kształtu nabiegunników zębów stojana z segmentacją magnesów w celu zminimalizowania prądów wirowych w magnesach trwałych oraz w rdzeniu silnika elektrycznego,
- opracowanie budowy uzwojenia stojana o kołowym przekroju poprzecznym zwojów cewki do weryfikacji obliczeń połowych prądów wirowych z pomiarami (przedstawione rozwiązanie techniczne budowy takiej cewki pozwoliło na dokładne zbadanie tzw. efektu zbliżeniowego i uzyskanie wysokiej zbieżności pomiarów z obliczeniami numerycznymi strat mocy w miedzi przy wysokich częstotliwościach),
- kompleksowa analiza 2-D i 3-D efektu zbliżeniowego w przewodnikach miedzianych uzwojenia maszyny elektrycznej pracującej przy wysokich częstotliwościach i prądach,
- zbadanie wpływu połączeń czołowych w przetwornikach elektromagnetycznych na rozkłady prądów wirowych w uzwojeniu, rdzeniu silnika, oraz na użyteczne parametry maszyn elektrycznych,
- opracowanie w pełni sparametryzowanych modeli 2-D i 3-D silników ze strumieniem osiowym bazujących na metodzie elementów skończonych (MES) do celów optymalizacji maszyn elektrycznych. Modele te do dziś są używane przez zagraniczne ośrodki badawcze i projektowe (patrz załącznik 7)
- kompleksowa analiza wpływu niewspółosiowości rdzeni stojanów i dysku wirnika w silniku ze strumieniem osiowym na użyteczne parametry maszyny elektrycznej (opracowanie 2-D i 3-D modeli połowych bazujących na MES),
- wskazanie potrzeby łączenia badań niewspółosiowości i analizy tolerancji montażu elementów maszyny elektrycznej w celu zminimalizowania ryzyka skrócenia żywotności elementów np. silników elektrycznych,
- zaprojektowanie i wdrożenie innowacyjnych rozwiązań w silnikach ze strumieniem osiowym wykorzystywanych w pojazdach elektrycznych (tj. opracowanie konstrukcji silnika z segmentowym rdzeniem stojana zbudowanym z sproszkowanego żelaza o rozwijanym momencie elektromagnetycznym 790Nm - zasilenie uzwojeń prądem skutecznym 450A oraz o dużej gęstości mocy 5kW/kg).

Zdobyta wiedza w jednostkach badawczych w jakich pracował autor wniosku, posłuży do opracowania kolejnych publikacji oraz rozpoczęcia nowych projektów badawczych.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

5.1 Projekty badawcze

Najważniejsze projekty badawcze rozwijane samodzielnie przez Habilitanta, stanowią elementy naukowe z obszaru zwiększania mocy i energooszczędności silników elektrycznych

w zastosowaniach do pojazdów elektrycznych i hybrydowych oraz do aplikacji powiązanych z energią odnawialną. Większość projektów badawczych dotyczą zagadnień z jednotematycznego cyklu publikacji pt. „**Analiza i synteza maszyn elektrycznych w napędach pojazdów elektrycznych i hybrydowych**”. Projekty te zestawiono poniżej.

Miejsce realizacji	Nazwa projektu i opis zaangażowania habilitanta
POLITECHNIKA OPOLSKA, Polska	2018.01 – 2018.04, Kierownik projektu naukowo-badawczego o numerze BU-08/18(155/18) „Opracowanie systemu sterowania oraz silnika elektrycznego BLDC/PMSM w ramach działalności badawczo-rozwojowej Auto Power Electronic Piotr Skrobotowicz”. W ramach projektu kierownik projektu przygotował wstępny projekt, koordynował pracami zespołu naukowo-badawczego, zaprojektował silnik elektryczny oraz brał istotny udział w przygotowaniu i wykonaniu analizy wyników. Projekt finansowany przez Auto Power Electronic (APE).
YASA Motors, Yarnton, UK	2016.10 - 2017.08, Wykonawca w projekcie naukowo-badawczym „Customer-I”. Głównym celem projektu było opracowanie nowej konstrukcji silnika ze strumieniem osiowym o strukturze z jednym stojanem i o dwóch wirnikach w zastosowaniu do aplikacji pojazdów elektrycznych (silnik o gęstości mocy >5kW/kg) Projekt finansowany przez YASA Motors i europejskiego producenta pojazdów elektrycznych.
YASA Motors, Yarnton, UK	2016.10 - 2017.08, Wykonawca w projekcie naukowo-badawczym zewnętrznym „Customer-II” dla opracowania silnika ze strumieniem osiowym dla aplikacjach pojazdów elektrycznych. Współautor i autor skryptów obliczeniowych w pełni sparametryzowanych przeznaczonych do projektowania silników elektrycznych i analiz związanych z wpływem tolerancji montowanych elementów silnika na wydajność silnika elektrycznego. Projekt finansowany przez YASA Motors we współpracy z wiodącym producentem pojazdów elektrycznych na rynku Wielkiej Brytanii.
YASA Motors, Yarnton, UK	2017.04 - 2017.05, Główny wykonawca w projekcie naukowo-badawczym dotyczącym symulacji pola elektromagnetycznego, którego celem było opracowanie i rozwinięcie metodologii w projektowaniu silników elektrycznych ze strumieniem osiowym dla aplikacji pojazdów elektrycznych i hybrydowych. Pomysłodawca i autor skryptów numerycznych do badania stanów awaryjnych silnika i ich wpływu na najważniejsze parametry funkcjonalne badanych silników. Wewnętrzny projekt finansowany przez YASA Motors.
GKN EVO, UK	2016.05 –2016.09, Wykonawca i współprojektant silnika o strumieniu radialnym z magnesami umieszczonymi wewnątrz rdzenia wirnika (IPM) używanym w aplikacjach pojazdów elektrycznych. Projekt finansowany przez GKN EVO. Oraz lider w badaniach optymalizacyjnych i projektowych silnika z magnesami trwałymi o strumieniu promieniowym. GKN EVO przewodnictwo w projekcie.
GKN EVO, UK	2015.11 – 2016.05, Lider i autor projektu finansowanego przez GKN EVO. Cele projektu badawczego dotyczyły m.in. przygotowanie skryptów obliczeniowych przy użyciu metod numerycznych do optymalizacji sparametryzowanej geometrii silników elektrycznych z magnesami trwałymi. Zadania te habilitant powiązał z wymaganiami dotyczącymi poprawy własności silników elektrycznych stawianych przez światowych liderów w dziedzinie produkcji pojazdów elektrycznych.
GKN EVO, UK	2015.08 – 2016.03, Wykonawca w projekcie „STATOR INDUSTRIALISATION” finansowanym przez GKN EVO. Wykonanie analiz wpływu zmiany liczby par biegunów wirnika i stojana na parametry użytkowe i sprawność silnika. GKN EVO przewodnictwo w projekcie.



GKN EVO, UK	2015.02 – 2017.02 Lider i autor w projekcie dotyczącym monitorowania zjawisk prądów wirowych w uzwojeniach zasilanych prądem o wysokich częstotliwościach, gdzie występuje oddziaływanie pól magnetycznych z przewodników uzwojenia na sąsiednie (ang. proximity effect) i efektu naskórkowości (ang. skin effect) w uzwojeniach silników elektrycznych o strumieniu osiowym przeznaczonych do aplikacji pojazdów elektrycznych i hybrydowych. Projekt finansowany przez GKN EVO.
GKN EVO, UK	2014.08 – 2016.06 Wykonawca i współautor w projekcie „Induction Axial Flux Motor” finansowanym przez GKN EVO. Badania naukowe dotyczyły poprawy własności prototypu silnika indukcyjnego o strumieniu osiowym jako alternatywa dla silników ze strumieniem osiowym wykorzystujących magnesy trwałe. Oraz, lider i główny badacz w zaprojektowaniu nowej konstrukcji silnika indukcyjnego o strumieniu osiowym.
GKN EVO, UK	2013.05 – 2014.08, Wykonawca w projekcie „P2 Hybrid Module” dotyczącym obniżeniu kosztów budowy silnika elektrycznego do aplikacji pojazdów elektrycznych o strukturze P2 Hybrid Module. Projekt finansowany przez GKN EVO. GKN EVO przewodnictwo w projekcie.
GKN EVO, UK	2013.02 – 2014.08, Wykonawca w projekcie „Gyro Drive Industrial Motor” dla aplikacji hybrydowych pojazdów autobusowych. Projekt finansowany przez GKN EVO. GKN EVO przewodnictwo w projekcie.
GKN EVO, UK	2013.02 – 2014.02, Wykonawca i współprojektant wysoko wydajnych silników ze strumieniem osiowym w Modułowych Systemach Hybrydowych P2 dla aplikacji pojazdów elektrycznych. Projekt finansowany przez GKN EVO. GKN EVO Przewodnictwo w projekcie.
GKN EVO, UK	2013.02 – 2014.02, Wykonawca i projektant w projekcie silników elektrycznych wykorzystywanych w aplikacjach trakcyjnych systemów modułowych P2. Projekt finansowany przez GKN EVO.
UNIVERSITY of BRISTOL, UK	2011.03 – 2012.02, Wykonawca w projekcie „HERRB” finansowanym przez EU-JTI Clean Sky. University of Bristol przewodnictwo w projekcie.
UNIVERSITY of BRISTOL, UK	2011.11 – 2012.02, Wykonawca w projekcie dotyczącym badania zjawisk prądów wirowych w silnikach ze strumieniem osiowym do aplikacji pojazdów elektrycznych i hybrydowych. Projekt finansowany przez EVO Electric. University of Bristol przewodnictwo w projekcie.
UNIVERSITY of BRISTOL, UK	2010.08 – 2012.02, Wykonawca w projekcie finansowanym przez „AshWood”. University of Bristol przewodnictwo w projekcie.
UNIVERSITY of BRISTOL, UK	2010.05 – 2010.08, Wykonawca w projekcie „Traction Motor – Electric Van”. University of Bristol przewodnictwo w projekcie.
UNIVERSITY of BRISTOL, UK	2010.01 – 2010.05, Wykonawca w projekcie usług świadczonych z Forgen Vertical Axis Wind Turbines dotyczących pionowo-osiowych małych turbin wiatrowych. Główny badacz trójwymiarowych obliczeń polowych i modyfikacji istniejących prototypów. Przygotowane raporty z badań naukowych pozwalają określić metodologię zaprojektowania generatora pod kątem poprawy sprawności i zwiększenia mocy generatorów z magnesami wykonanymi z materiału ferromagnetycznego.



5.2 Prezentacje konferencyjne i prezentacje wygłoszone w jednostkach badawczych

Lp.	Prezentacje wyników badań	Charakter wystąpienia
1	<i>Assessment of axial flux motor performance for automotive application</i> , The 25 th Symposium on Electromagnetic Phenomena in Nonlinear Circuits (EPNC), June 26-29, 2018, Arras, France.	Posterowy
2	<i>Monitoring experimental data-a summary of measured machine performance for the electric motors with distributed and concentrated winding used for automotive applications</i> . GKN EVO, October 2016, Woking.	Plenarny
3	<i>Eddy currents and proximity effects in the electrical machines with PMs</i> , GKN EVO, June 2016, Woking.	Plenarny
4	<i>Genetic algorithm in Optimisation of electric machines</i> , GKN EVO, 2016, Woking.	Plenarny
5	<i>Effect of rotor/stator misalignment on the performance of a permanent magnet axial-flux motor</i> , The 8 th International Conference on Power Electronics, Machines and Drives (PEMD), 19-21 April 2016, Glasgow.	Posterowy
6	<i>Monitoring experimental data-a summary of measured machine performance for the electric motors used for automotive applications</i> . GKN EVO, 21 August 2015, Woking.	Plenarny
7	<i>Analysis of integral parameters in slotless axial-flux machine used in small wind turbines</i> . University of Bristol, 2011, Bristol.	Oralny
8	<i>Performance of brushless permanent magnet synchronous motor</i> , International XVI Symposium Micromachines & Servosystems. Straszyń, 2008.	Plenarny
9	<i>Torque characteristics of BLDC motor with multipolar excitation</i> , XIV International Symposium on Theoretical Electrical Engineering, ISTET'07, 20th –23rd June, Szczecin 2007.	Posterowy
10	<i>Redukcja pulsacji momentu w silniku BLDC poprzez modyfikację uzłobkowania stojana</i> , Międzynarodowe Sympozjum Maszyn Elektrycznych, SME 2007, 2-5 lipiec, Poznań 2007.	Posterowy
11	<i>Analysis of electromagnetic torque in permanent magnet motors with bridged stator and magnet poles arranged according to halbach array</i> , International Conference on Low Voltage Electrical Machines, Brno, Czech Republic, November, LVEM 2006.	Plenary
12	<i>Minimization of Torque Pulsations in Brushless DC Motor</i> , International Conference on Low Voltage Electrical Machines, Brno, Czech Republic, November, LVEM 2006.	Posterowy
13	<i>Electromagnetic Torque of Permanent Magnet Motor with a Bridged Stator</i> , International XV Symposium Micromachines and Servosystems, 17-21 September 2006, Soplicowo-Poland.	Posterowy
14	<i>Analysis of a BLDC motor with Fractional Slot Winding</i> , International XV Symposium Micromachines and Servosystems, 17-21 September 2006, Soplicowo-Poland.	Posterowy
15	<i>Wpływ zmiennego wektora magnetyzacji na moment zaczepowy bezszczotkowego silnika prądu stałego</i> , Międzynarodowe Sympozjum Maszyn Elektrycznych, SME 2006, 3-6 July, AGH Kraków.	Posterowy

16	<i>Wpływ modyfikacji obwodu magnetycznego na moment w bezszczotkowym silniku prądu stałego, IX Konferencja Naukowa Zastosowania Komputerów w Elektrotechnice, ZkwE, 10-12 kwietnia 2006, Poznań 2006.</i>	Plenarny
17	<i>Wpływ magnetyzacji typu Halbach magnesów trwałych na moment elektromagnetyczny w bezszczotkowym silniku prądu stałego, VII Międzynarodowe Warsztaty Doktoranckie, OWD, 2005, Wisła.</i>	Plenarny
18	<i>Analiza momentu elektromagnetycznego I składowych pulsujących w bezszczotkowym silniku prądu stałego wzbudzonym magnesami trwałymi, XLI Międzynarodowe Sympozjum Maszyn elektrycznych, SME, 2005, Jarnołtówek.</i>	Plenarny
19	<i>Estymacja parametrów modelu matematycznego transformatora 1-fazowego, XL Międzynarodowe Sympozjum Maszyn elektrycznych, SME, 2004, Hajnówka.</i>	Plenarny
20	<i>Analiza pola magnetycznego w silniku prądu stałego z magnesami trwałymi przy użyciu Flux3d, Ogólnopolskie spotkanie Flux-Klub 2004, organizowany przez katedrę Elektrotechnologii Politechniki Śląskiej i firmę Termagsoft, Katowice, 09.09.2004.</i>	Plenarny
21	<i>The analysis of the magnetic field of selected DC motors with permanent magnets, using the Flux 3d program, Koło Naukowe Eledyn, Niedzica 2004.</i>	Plenarny
22	<i>Modelowanie pola elektromagnetycznego przy wymuszeniu napięciowym na przykładzie jednofazowego dławika małej mocy, Studencki ruch naukowy - wyzwania XXI wieku, Materiały Międzynarodowej Konferencji Studenckich Kół Naukowych, 2002, Siedlce.</i>	Plenarny

5.3 Podsumowanie najważniejszych wyników badań naukowych na podstawie projektów badawczych dotyczących tematyki jednotematycznego cyklu publikacji pt. „Analiza i synteza maszyn elektrycznych w napędach pojazdów elektrycznych i hybrydowych”

Potwierdzenie udziału i wkładu naukowego w projekty badawcze, o których wspomniano w punkcie 5.1 przedstawiono w załączniku 7. Wyniki badań naukowych prowadzone przez Habilitanta zostały obszernie zestawione w raportach, które są w posiadaniu przez ośrodki badawcze w GKN EVO eDrive Systems i YASA Motors Ltd (opis i przydatność prac badawczych został potwierdzony przez menadżerów i szefów jednostek naukowo-badawczych, patrz załącznik 7). Raporty te opisują podejścia projektanckie pod kątem utrzymania stabilnej mocy i sprawności silnika elektrycznego uwzględniające aspekty temperaturowe, tolerancję montowanych elementów silnika jak i wytrzymałość mechaniczną. Badania te mają duże znaczenie w zakresie innowacyjności oraz ekonomiki w odniesieniu do silników elektrycznych wykorzystywanych w przemyśle samochodowym. Dzięki badaniom udało się znacząco ulepszyć technikę samochodową z napędem hybrydowym i elektrycznym co pozwoliło opracować atrakcyjny w eksploatacji napęd o dużej sprawności i zwiększonej żywotności. Raporty te także służą projektantom i naukowcom w opracowywaniu nowych konstrukcji maszyn elektrycznych. Raporty te nie przedstawiono w niniejszym wniosku ze względu na ochronę praw autorskich i zachowanie poufności w GKN Evo eDrive Systems i w YASA Motors Ltd. Również projekty badawcze wykonane w University of Bristol pozwoliły na zdobycie doświadczenia w projektowaniu i optymalizacji silników

elektrycznych. Zdobyta wiedza naukowa pozwoliła na prowadzenie samodzielnej pracy naukowej z obszaru dotyczącego poprawy efektywności silników elektrycznych, zwiększeniu jego żywotności oraz zminimalizowaniu kosztów budowy silnika elektrycznego.

Projekty: - *“Power Dense P4 Traction Motor for Automotive OEM”*, GKN EVO, UK
- *“Stator Industrialisation”*, GKN EVO, UK

Niniejsze projekty naukowo-badawcze w których uczestniczył Habilitant, wiązały się z odpowiedzialnością za obliczenia polowe m.in. opracowanie w pełni sparametryzowanych 2- i 3- wymiarowych modeli polowych silników ze strumieniem osiowym o dwóch stojanach i jednym wirniku. Modele te bazujące na metodzie elementów skończonych wykorzystywano do badania właściwości badanych silników [1-4, 7], a następnie poprawę ich użytecznych parametrów i zwiększenie zakresu regulacji prędkości obrotowej [7, 14]. Na rysunku 1 pokazano stanowisko laboratoryjne oraz zbudowany przykładowy silnik. Prototypy były poddawane testom wytrzymałościowym i monitorowaniu zjawisk temperatur w wybranych elementach silnika. Słabe strony silników modyfikowano celem zwiększenia ich żywotności. Niejednokrotnie proponowane zmiany dotyczyły innowacyjnych rozwiązań konstrukcyjnych. Prace te pozwoliły na wyrobienie sobie w środowisku naukowym GKN EVO eDrive Systems pozycji samodzielnego projektanta silników elektrycznych w poszukiwaniu nowych rozwiązań konstrukcyjnych.



Rys. 1. Stanowisko pomiarowe do badań silników ze strumieniem osiowym (a) oraz silnik synchroniczny z magnesami trwałymi ze strumieniem osiowym o mocy 59kW (b)

Projekt: *„Genetic Algorithm Scripts for Optimisation Design”*, GKN EVO, UK

Dodatkowo projekty naukowe jakie prowadził Habilitant zawierały elementy naukowe z obszaru optymalizacji konstrukcji silników elektrycznych w aplikacjach pojazdów elektrycznych i hybrydowych. Habilitant opracował własnego autorstwa uniwersalne skrypty implementując w obliczenia numeryczne (przy wykorzystaniu algorytmów genetycznych) sparametryzowane modele polowe bazujące na metodzie elementów skończonych. Zdefiniowano również odpowiednie funkcje celu co pozwoliło uzyskać jak najmniejsze straty w żelazie oraz zmniejszyć koszty budowy badanego silnika, a jednocześnie otrzymać o dobrych właściwościach konstrukcje silnika elektrycznego. Zaprojektowane i zbudowane

prototypy silników ze strumieniem osiowym przechodziły testy wytrzymałościowe i eksploatacyjne na dobrym poziomie. Silniki te z sukcesem wdrażano do produkcji seryjnej

Projekt: *“Proximity and Skin Phenomenon in the Winding of Axial Flux Machines used for Automotive Applications”*, GKN EVO, UK

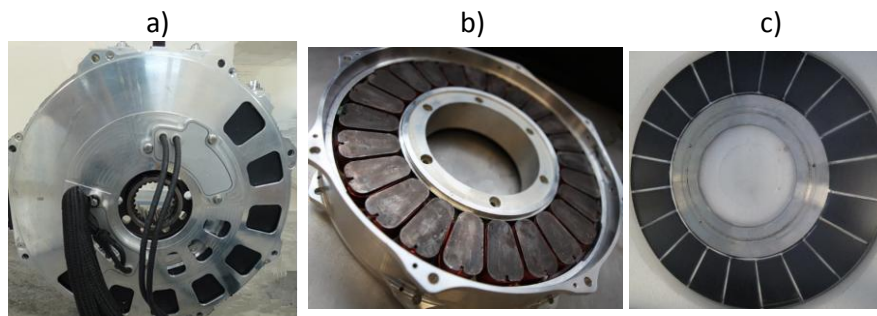
Kolejne istotne elementy naukowe jakie Habilitant samodzielnie rozwijał w trakcie wykonywanych projektów dotyczyły obszaru z dziedziny badań prądów wirowych generowanych w uzwojeniach zasilanych prądem o wysokich częstotliwościach w uzwojeniach silnika ze strumieniem osiowym. Silniki te posiadały uzwojenia skupione. Zaprojektowane uzwojenie silnika AFM, gdzie przy wysokich częstotliwościach zasilania uzwojeń prądem sinusoidalnym wpływ prądów wirowych na zmianę rezystancji uzwojenia jest bardzo mały (stosunek zmiany rezystancji R_{ac}/R_{dc} wynosi 1.4 przy 8000obr/min – 667Hz (R_{dc} to rezystancja uzwojenia dla prądu stałego, natomiast R_{ac} to rezystancja uzwojenia przez które płynie prąd o sinusoidalnej wartości chwilowej)). Wyniki tych badań ze względu na tajność prowadzonych badań naukowych nie były publikowane, zostały one szczegółowo omówione i merytorycznie wyjaśnione w raportach naukowych, które Habilitant przygotował samodzielnie (załącznik 7 - Potwierdzenie udziału w najważniejszych projektach badawczych).

Projekty: - *“Gyro Drive Industrial Motor for Hybrid Bus Application”*, GKN EVO, UK
- *“High Performance P2 Hybrid Module for Automotive OEM”*, GKN EVO, UK
- *“Low Cost P2 Hybrid Module for Automotive OEM”*, GKN EVO, UK

W kolejnych projekach *„Gyro Drive Industrial Motor”*, *„Modułowe Systemy Hybrydowe P2”* i *„Low Cost P2 Hybrid Module for Automotive OEM”* Habilitant miał swój osobisty wkład naukowy na wskazanie kierunków projektowych i optymalizacji w osiągnięciu jak najbardziej wydajnego silnika pod kątem zminimalizowanych strat mocy w magnesach trwałych jak i redukcja strat mocy w rdzeniach wirnika i stojana. Badania dotyczyły zaprojektowanych silników z uzwojeniami skupionymi oraz rozłożonymi. W raportach także obszernie zestawiono metodę wyznaczania stałej uzwojenia (ang. *winding factor*) gdzie pokazano również wpływ zmiany liczby biegunów stojana i wirnika na zmianę współczynnika uzwojenia. Stała ta jest niezmiernie istotna, gdyż uzyskując wyższy współczynnik uzwojenia otrzymamy większą stałą napięciową i stałą momentową oraz przebieg napięcia indukowanego w uzwojeniu o zmniejszonych harmonicznym. Dla różnych typów maszyn elektrycznych wykonano pełną analizę parametrów użytecznych oraz analizę strat mocy. W nowych opracowanych konstrukcjach silnika AFM o uzwojeniach skupionych (w porównaniu z silnikiem AFM przed wykonaną modyfikacją) udało się zwiększyć stałą napięciową z 0.54V·s/rad do 0.74 V·s/rad oraz stałą momentową z 0.866Nm/A_{rms} do 0.945 Nm/A_{rms}. Zmniejszono również współczynnik zawartości harmonicznym (ang. total harmonic distortion) z 5.1% do 3%.

Projekty: - "Customer-I", YASA Motors, UK
- "Customer-II", YASA Motors, UK

Udział Habilitanta w projektach wykonanych w YASA Motors Ltd. dotyczyły badań nad innowacyjną konstrukcją silnika ze strumieniem osiowym o dwóch wirnikach i jednym segmentowym stojanie, którego rdzeń wykonano z sproszkowanego żelaza, rysunek 2.



Rys. 2. Silnik ze strumieniem osiowym (a) zbudowany z jednego segmentowego bezjaźmowego stojana (b) i z dwóch wirników, na rysunku (c) pokazano jeden wirnik z magnesami trwałymi

Dzięki projektom „Customer-I” i „Customer-II” w jakich habilitant brał udział oraz dzięki kierowaniu własnymi projektami (Załącznik 7 - Potwierdzenie udziału w najważniejszych projektów badawczych) praca naukowa zawierała elementy naukowe z obszaru badania wpływów stanów awaryjnych jakie mogą wystąpić podczas eksploatacji silnika na jego parametry użyteczne. Habilitant miał własny wkład na rozwój metod konstrukcyjnych maszyn elektrycznych w odniesieniu do zwiększenia ich żywotności poprzez np. zmniejszenie sił osiowych działających na łożyska silnika i zredukowanie ryzyka odmagnesowania magnesów do pożądanego minimum. Osobisty wkład w rozwój konstrukcji silnika pozbawionego negatywnych zjawisk pozwoliło zbudować silnik o małym hałasie, zredukować do minimum harmoniczne w momencie zaczepowym, znacznie zminimalizować pulsacje momentu elektromagnetycznego oraz zminimalizować niesymetryczność sił magnetycznych wytwarzanych w każdym z wirników będące efektem tolerancji montowanych elementów silnika tj. magnesów czy też tarcz wirników. Wyniki prac habilitant zestawiał w przygotowanych raportach naukowych. Projekty te dotyczą dyscypliny związanej z polepszeniem efektywności pracy i sprawności silników elektrycznych wykorzystywanych do aplikacji pojazdów elektrycznych i hybrydowych czy też trakcyjnych. Projekty te wnoszą innowacyjne rozwiązania konstrukcyjne, pokazują poprawne podejścia konstrukcyjne czy też optymalizacyjne. I w tym przypadku, większość wyników badań ze względu na poufność nie były nigdzie publikowane.

Projekt: “Developing the Computationally Efficient Methodology in Design Study of Axial Flux Motor”, YASA Motors, UK

Autor wniosku w ramach projektu badawczego na rozwinięcie metodologii projektowania silników ze strumieniem osiowym o topologii silnika z dwoma wirnikami i jednym stojaniem opracował skrypty do obliczeń analitycznych oraz skrypty do generowania modeli polowych

bazujących na metodzie elementów skończonych, które to były wdrażane w procesy optymalizacyjne. Osiągnięcia potwierdzone przez szefów firm zamieszczono w załączniku 5.

Projekty badawcze jakie habilitant prowadził lub też wdrożył w większości były finansowane przez budżet państwa Wielkiej Brytanii, UE oraz przez prywatne firmy. Dzięki tym projektom habilitant poznał nie tylko nowe zagadnienia związane z projektowaniem maszyn elektrycznych oraz stosowane podejścia naukowe w polepszeniu wydajności tych maszyn elektrycznych, ale również habilitant powiększył swoją wiedzę z zakresu budowy silników pod kątem ekonomiczności i innowacyjności tworzenia takich maszyn. Ponadto habilitant mógł poznać jakimi podejściami kierują się konsorcja i firmy w rozwiązywaniu problemów związanych z projektowaniem silników, a jednocześnie jakie są stawiane wymagania przez różnych producentów pojazdów elektrycznych i hybrydowych. Cała ta wiedza otworzyła przed habilitantem nowe horyzonty na rozpoczęcie nowych projektów badawczych nad innowacyjnymi napędami elektrycznymi.

5.4 Recenzje prac naukowych

Poniżej zestawiono aktualne czasopisma naukowe dla których habilitant wykonał recenzje prac naukowych. W chwili obecnej habilitant wykonuje recenzje prac dla krajowych jak i zagranicznych czasopism naukowych i konferencyjnych.

1	2018.02	The International Journal for Computation and Mathematic in Electrical and Electronic Engineering, Manuscript ID: COMPEL-02-2018-0086	COMPEL
2	2018.04	The International Journal for Computation and Mathematic in Electrical and Electronic Engineering, Manuscript ID: COMPEL-04-2018-0159	COMPEL

5.5 Nagrody i wyróżnienia

2008-2012	Kilku letni staż naukowy w Department of Electrical Engineering, University of Bristol, UK, na zaproszenie profesora Phill Mellor kierującego Electrical Energy Management Group
2007	Nagroda JM Rektora Politechniki Opolskiej przyznanej nauczycielom akademickim za działalność naukową, dydaktyczną oraz organizacyjną w roku 2007
2007	Wyróżnienie pracy doktorskiej „Konstrukcyjne metody ograniczania pulsacji momentu elektromagnetycznego w bezszczotkowym silniku prądu stałego z magnesami trwałymi”
2004	Dyplom za zajęcie II miejsca w Konkursie Prac Dyplomowych studentów Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Opolskiej. Konkurs SEP na najlepszą pracę dyplomową.

5.6 Prace organizacyjne

2005	Udział w Komitecie Organizacyjnym XLI Międzynarodowego Sympozjum Maszyn Elektrycznych SME'2005
2004	Udział w Opolskich Festiwalach Nauki, prezentacja prac naukowych

5.7 Najważniejsze wyniki badań naukowych na podstawie artykułów i projektów badawczych nie wchodzących w skład tematyki monotematycznego cyklu publikacji niniejszego wniosku

Do prac naukowych niezwiązanych z monotematycznym cyklem publikacji należy zaliczyć artykuły i wystąpienia konferencyjne będące wynikiem udziału w projektach wdrożeniowych dla przemysłu związanego z odnawialną energią.

ad. [23] **A. Młot**, M. Korkosz, M. Łukaniszyn, *Analiza parametrów funkcjonalnych w bezźłobkowym 3-fazowym generatorze tarczowym dla małej elektrowni wiatrowej*, Przegląd Elektrotechniczny, Vol. 89(2b), pp. 139-142, 2013.

W pracy [23] habilitant przedstawił wyniki badań naukowych nad poprawą sprawności i zminimalizowania kosztów produkcji generatorów wiatrowych małych mocy. W skład budowy generatorów o strumieniu osiowym wchodził bezrdzeniowy wirnik posiadający magnesy ferrytowe oraz jeden rdzeń stojana z trójfazowym uzwojeniem skupionym. W modyfikowanych maszynach elektrycznych udało się wykonać modyfikację obwodu magnetycznego podnosząc sprawność maszyny i jej moc. Prace [12, 13, 16, 17, 22, 25, 26] dotyczyły podobnych analiz pola magnetycznego i parametrów funkcjonalnych generatorów o różnej liczbie faz uzwojenia oraz o różnej liczbie biegunów stojana i wirnika.

Projekt: „*Power Dense IPM Motor for an Automotive Application*”

W ramach powyższego projektu zaprojektowano silnik o strumieniu radialnym z magnesami zagnieżdżonymi wewnątrz rdzenia wirnika. Celem projektu było zbudowanie w pełni sparametryzowanego modelu połowego bazującego na metodzie elementów skończonych przeznaczonego dla optymalizacji pod kątem zminimalizowania materiałów używanych do budowy wirnika i stojana, a jednocześnie podniesienie sprawności silnika. Docelowo zaprojektowane silniki są przeznaczone do aplikacji pojazdów elektrycznych.

Projekt: „*Induction Axial Flux machine*”

Wkład własny habilitanta odnosił się również do rozwoju konstrukcji silnika indukcyjnego ze strumieniem osiowym (IAFM) jako alternatywa silnika ze strumieniem osiowym z magnesami trwałymi. Otrzymanie przyzwolenia przez Chief Technology Officer (CTO) na kontynuowanie innowacyjnych prac badawczych dla silnika indukcyjnego ze strumieniem osiowym było wyróżnieniem dla habilitanta i uprawnieniem do prowadzenia samodzielnej pracy nad nowymi projektami, szczególnie w odniesieniu do silników o strumieniu osiowym (udział habilitanta w badany projekt - załącznik 7). Zaprojektowany silnik indukcyjny ze strumieniem osiowym charakteryzował się stałą momentową nie mniejszą niż 18% w porównaniu z silnikiem ze strumieniem osiowym posiadający magnesy trwałe.



6. Podsumowanie

Poniżej zestawiono najważniejsze czasopisma naukowe, w których opublikowano prace naukowe habilitanta. Zestawienie dokonano na podstawie kompletnej listy publikacji zawartej w załączniku 4.

Źródło naukowe	Liczba publikacji
IEEE Transactions on Industrial Electronics (Academic Journal)	1
IEEE Transactions on Industry Applications (Academic Journal)	1
Compel – The International Journal For Computation And Mathematics In Electrical And Electronic Engineering (Academic Journal)	2
Analysis & Simulation of Electrical & Computer Systems, Lecture Notes in Electrical Engineering, Springer (Book)	2
Archives of Electrical Engineering (Academic Journal)	4
Przegląd Elektrotechniczny (Academic Journal)	4
Technical Transactions, Electrical Engineering, Czasopismo Techniczne Elektrotechnika	2

Poniżej zestawiono ocenę naukową publikacji zawartej w załączniku 4.

Hirsh index na podstawie **Web of Science** Core Collection dla 14 indeksowanych publikacji wynosi **h-index: 4**

Sumaryczna liczba cytowań 14 artykułów w bazie WoS – **107 (bez cytowań własnych 105)**

Hirsh index na podstawie bazy **Scopus** dla indeksowanych 23 publikacji wynosi **h-index: 6**.

Sumaryczna liczba cytowań 23 artykułów w bazie **Scopus Author Identifier** – **182 (bez cytowań własnych 154)**

Sumaryczny impact factor na podstawie załączonej listy publikacji i na rok publikacji w czasopiśmie z listy **Journal Citation Reports (JCR)** – **7.915**

Sumaryczna punktacja **Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego (MNIŚW)** na podstawie załączonej listy publikacji z załącznika 4 - **304**



W tabeli poniżej zestawiono najważniejsze osiągnięcia po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych.

Osiągnięcia naukowe		Razem	
Opublikowane prace naukowe		49	
Czasopisma	z listy JCR		4
	międzynarodowe		2
	krajowe		31
Materiały konferencyjne	międzynarodowe		5
	krajowe	7	
Sumaryczny Impact Factor według listy JCR na podstawie jednotematycznego cyklu publikacji załączonej w załączniku 9		7.915	
Liczba cytowań publikacji według bazy WoS (bez cytowań własnych)		107 (105)	
Index Hirscha według bazy WoS		4	
Kierowanie lub udział w najważniejszych projektach badawczych	międzynarodowe	12	
	krajowe	2	
Udział w konferencjach naukowych lub w komitetach organizacyjnych tych konferencji	międzynarodowe	2	
	krajowe	5	
Współpraca naukowa z zagranicznymi i krajowymi jednostkami naukowo badawczymi	międzynarodowe	3	
	krajowe	2	
Recenzowanie artykułów dla czasopism międzynarodowych		2	
Wykonanie ekspertyzy lub inne opracowania na zamówienie w formie raportów technicznych	międzynarodowe	24	
	krajowe	1	

7. Autoreferat

Urodziłem się 1 czerwca 1978 w Opolu. Po ukończeniu szkoły podstawowej podjąłem naukę w Zespole Szkół Elektrycznych im. Tadeusza Kościuszki w Opolu. Technikum Elektryczne ukończyłem w roku 1999 uzyskując tytuł technika o specjalności telekomunikacja. W tym samym roku rozpocząłem studia magisterskie o kierunku Elektrotechnika na Politechnice Opolskiej. W międzyczasie ukończyłem dwumiesięczny kurs języka angielskiego w Studio Main School w Cambridge, Anglia, w roku 2000. W roku 2003 ukończyłem Policealne Studium Języka Angielskiego w Opolu.

Praca naukowa na Politechnice Opolskiej

Po ukończeniu trzeciego roku studiów Profesor Marian Łukaniszyn zaproponował możliwość podjęcia indywidualnego toku studiów. Razem z Profesorem Łukaniszynem określiliśmy nowe tematy nauczania przystosowując istniejącą siatkę przedmiotów do moich zainteresowań naukowych. Tematyka indywidualnego toku studiów dotyczyła przede

wszystkim na zastosowaniu technik obliczeniowych w projektowaniu i analizie zagadnień elektrotechniki. W głównej mierze były analizowane zagadnienia związane z teorią pola elektromagnetycznego w zastosowaniu do projektowania maszyn elektrycznych z magnesami trwałymi i transformatorów. Zajmowałem się także aspektami dotyczącymi technik optymalizacyjnych przy wykorzystaniu algorytmów genetycznych. Badania te były niezmiernie ważne w trakcie moich studiów indywidualnych, pozwoliły one mi poznać i rozwinąć właściwe techniki projektowania maszyn elektrycznych. Będąc jeszcze studentem Politechniki Opolskiej, zaprezentowałem moje wyniki naukowe na konferencjach naukowych i częściowo opublikowane zostały w zeszytach naukowych (patrz Załącznik 4 – Lista publikacji).

W 2003 roku ukończyłem studia na Politechnice Opolskiej uzyskując tytuł magistra w na kierunku Elektrotechnika w zakresie Automatyka i Diagnostyka układów Elektromechanicznych z wynikiem bardzo dobrym. W 2003 roku zdobyłem II miejsce w konkursie SEP na „Najlepszą Pracę Dyplomową”. Moja praca dyplomowa pt. „Analiza Nieustalonego Pola Magnetycznego za Pomocą Programu Opera 2d i Metody Sieci Reluktancyjnej” dotyczyła analizy prądów, napięć i sił elektrodynamicznych w stanach nieustalonych oraz estymacji nieliniowych parametrów przetworników elektromechanicznych przy użyciu metody sieci reluktancyjnych i metody elementów skończonych.

Jeszcze przed ukończeniem pracy dyplomowej profesor Marian Łukaniszyn przedstawił mi perspektywę doktoratu z tematyki bezszczotkowych elektrycznych silników z magnesami trwałymi i możliwość prowadzenia badań naukowych w odniesieniu do poprawy ich właściwości. Ofertę doktoratu przyjąłem, a po ukończeniu studiów rozpocząłem pracę asystenta na Wydziale Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Opolskiej. Do pierwszych moich obowiązków w nauczaniu było prowadzenie ćwiczeń i laboratorium z podstaw elektrotechniki, maszyn elektrycznych, metod numerycznych oraz zajęcia z modelowania pola elektromagnetycznego bazującego na metodzie elementów skończonych. Zajęcia były prowadzone dla studentów z 1 i 2 roku elektrotechniki i informatyki.

Moje początkowe badania naukowe do doktoratu skupiały się na zbadaniu możliwych metod konstrukcyjnych bezszczotkowego silnika elektrycznego z magnesami trwałymi małej mocy w celu analizy momentu elektromagnetycznego i redukcji momentu zaczepowego. Metody te obejmowały dwuwymiarową i trójwymiarową metodę elementów skończonych. W tym celu zbudowałem kilka prototypów silników elektrycznych z magnesami trwałymi w celu weryfikacji obliczeń wykonanych na modelach polowych z pomiarami. Zadawalające wyniki obliczeń i pomiarów pozwoliło mi rozszerzyć zakres poszukiwań nowych metod redukcji pulsacji momentu elektromagnetycznego i momentu zaczepowego. Kolejne badania dotyczyły modyfikacji uzwojeń stojana oraz modyfikacja kierunku wektora magnesowania magnesów trwałych. Opracowane nowe algorytmy optymalizacyjne dla sparametryzowanych modeli polowych pozwoliło zaprojektować finalne wersje bezszczotkowego silnika z magnesami trwałymi. Zagadnienia pracy doktorskiej były źródłem szeregu prac opublikowanych i zaprezentowanych na konferencjach naukowych. Późniejsze badania w pracy doktorskiej były wynikiem szerokiej współpracy z Politechniką Śląską w Gliwicach.

Efektem współpracy było opracowanie innowacyjnych konstrukcji silnika synchronicznego posiadającego segmentowy rdzeń stojana tzw. silnik ze stojanem mostowym (prace przedstawiono i opublikowano na konferencji International XVI Symposium Micromachines & Servomotors w 2008 roku w Straszynie [45, 46]).

Stopień doktora z wyróżnieniem uzyskałem w roku 2007 na Wydziale Elektrotechniki Automatyki i Informatyki Politechniki Opolskiej. W tym samym roku otrzymałem nagrodę JM Rektora Politechniki Opolskiej za działalność naukową, dydaktyczną oraz organizacyjną. Wkrótce zostałem awansowany na stanowisku adiunkta. Nowe obowiązki jako adiunkt dotyczyły rozbudowania nauczania poszerzając tematykę obliczeń numerycznych przy użyciu programu Matlab o obliczenia bazujące na metodzie elementów skończonych.

Podczas moje pracy dydaktycznej ukierunkowałem moje badania naukowe i zainteresowania z obszaru projektowania synchronicznych maszyn elektrycznych z magnesami trwałymi pod kątem poprawy ich parametrów użytecznych i sprawności. Badania te były rozwijane samodzielnie, gdzie szukałem metod konstrukcyjnych pozwalających wyeliminować niepożądane zjawiska zachodzące w maszynach elektrycznych w czasie ich eksploatacji. Praca naukowa zaczęła się skupiać głównie na zagadnieniach optymalizacyjnych maszyn elektrycznych ze strumieniem radialnym. Moje prace naukowe przyczyniły się do wskazania kierunków poszukiwań nowych rozwiązań projektanckich [35, 36, 40, 44, 49]. Owocem szeregu wystąpień na konferencjach i szeregu publikacji naukowych była prezentacja mojej osoby w środowiskach naukowych w kraju jak i za granicą.

Praca naukowa na Bristol of University, UK

W 2008 roku otrzymałem propozycję stażu naukowego jako Visiting Researcher na University of Bristol w Wielkiej Brytanii. Zgodziłem się na współpracę z profesorem Phil Mellor. Głównym celem pracy z zespołem Electrical Energy Managment Group (EEMG) było wsparcie w badaniach naukowych i rozwojowych, gdzie byłem wdrożony do kilku ważnych projektów badawczych dla przemysłu. Współpraca z naukowcami zagranicznej uczelni pozwoliło wymienić wzajemne doświadczenia oraz rozwinąć dalszy rozwój zainteresowań, które dotyczyły problemów projektanckich w generatorach wiatrowych małej i dużej mocy, a także w silnikach wysokoobrotowych o strumieniu radialnym i osiowym używanych w aplikacjach pojazdów elektrycznych i hybrydowych oraz w helikopterach i innych statkach latających. W roku 2009 profesor Phil Mellor przedłużył mój staż naukowy o kolejny rok i zacząłem pracę nad własnym projektem badawczym dotyczącym badań prądów wirowych w przetwornikach elektromechanicznych. Rozwijałem w ten sposób własną tematykę mając na celu rozwiązanie poważnego problemu weryfikacji obliczeń numerycznych z pomiarami prądów wirowych jakie generowane są w uzwojeniach silnika przy wysokich częstotliwościach i dużych obciążeniach prądowych. Efektem pracy było napisanie szeregu prac naukowych i kilku raportów naukowych. W roku 2010 rozpocząłem nową pracę na stanowisku projektanta silników elektrycznych (ang. motor designer) i jednocześnie otrzymałem stanowisko asystenta profesora na uczelni University of Bristol. Rozpocząłem poszukiwania innowacyjnych rozwiązań konstrukcyjnych w silnikach stosowanych do aplikacji pojazdów elektrycznych i dla małych generatorów wiatrowych.

Współpraca z EEMG zaowocowała kilkoma pracami naukowymi opublikowanych w renomowanych czasopiśmie [24, 29, 30, 34] oraz raportach naukowych przekładanych naukowcom i profesorom University of Bristol. Prace te były też przedstawiane menedżerom z prestiżowych firm. Mój czteroletni okres pracy na zagranicznej uczelni pozwolił mi nie tylko poznać naukowców zajmujących się różnymi wyzwaniami naukowymi w których brałem intensywny udział, ale również na promocję mojej osoby na takich uczelniach jak University of Sheffield i Univeristy of Glasgow.

Praca naukowa w przemysłowej jednostce naukowo-badawczej w GKN EVO, UK

Na początku roku 2012 rozpocząłem prace w jednostce naukowej GKN EVO w Wielkiej Brytanii. Praca w przemyśle na stanowisku motor designer zapoczątkowała nowe obowiązki, nowe doświadczenia i zwiększoną wydajność pracy, a przede wszystkim poznanie naukowców i inżynierów z przemysłu, gdzie wdrażane produkty były ciągle ulepszone by sprostać wymaganiom przyszłych użytkowników pojazdów elektrycznych lub hybrydowych. Moim głównym zadaniem było wsparcie w projektowaniu silników ze strumieniem osiowym o topologii dwóch stojanów i jednym wirniku wykorzystywanych przede wszystkim do aplikacji pojazdów hybrydowych produkowanych przez najważniejszych producentów samochodów elektrycznych i hybrydowych w Europie i na Świecie. Konstrukcje tych silników o mocach od 54 kW do 95 kW, rozwijających prędkości do 11000 obr/min, przedstawiłem w pracach [2, 4, 7, 14]. Do jednych z ważniejszych moich obowiązków należało przygotowywanie raportów naukowych. Niejednokrotnie służyły one jako wskazówki i niezbędna pomoc innym inżynierom w opracowywaniu nowych innowacyjnych rozwiązań maszyn elektrycznych. Moje prace były co miesiąc prezentowane przed gronem naukowców, inżynierów i menedżerów firmy GKN EVO gdzie wspólnie określaliśmy dalsze prace naukowe i plany wdrożeniowe zaprezentowanych rozwiązań. Z biegiem czasu prowadziłem własne wewnętrzne projekty badawcze, gdzie pracowałem nad własną tematyką dotyczącą zbudowania silnika indukcyjnego ze strumieniem osiowym, jako alternatywa dla silnika ze strumieniem osiowym z magnesami trwałymi. Moje rozwiązania i przemyślenia nad tym projektem uzyskały przychylność szefów firmy GKN EVO na kontynuowanie badań, które z sukcesem zostały zakończone. Czteroletni okres pracy w GKN EVO przyczynił się na poszerzenie wiedzy z zakresu projektowania maszyn elektrycznych z punktu widzenia projektantów z przemysłu. Byłem też inicjatorem na uzyskanie zgody na prezentowanie prac naukowych na konferencjach naukowych, i taką przychylność władz firmy pozwoliło na napisanie kilka artykułów naukowych. Na przykład, jedna z takich prac dotyczyła badanie wpływu przesunięcia stojanów względem siebie oraz wpływ niesymetryczności szczeliny powietrznej, której to wyniki z pracy zaprezentowałem na konferencji The International Conference on Power Electronics, Machines and Drives (PEMD) w Glasgow w roku 2016 [4].

Praca naukowa w przemysłowej jednostce naukowo-badawczej w YASA Motors, UK

W roku 2016 rozpocząłem pracę na stanowisku simulation engineer w firmie YASA Motors w Wielkiej Brytanii. Pracowałem w jednostce badawczej zajmującej się projektowaniem, optymalizacją oraz wdrażaniem innowacyjnych konstrukcji maszyn elektrycznych dla

aplikacji pojazdów sportowych elektrycznych i hybrydowych. Badania dotyczyły topologii silnika o strumieniu osiowym o dwóch wirnikach i jednym segmentowym stojanie. Moje zainteresowania skupiły się na analitycznych obliczeniach charakterystyk silnika oraz badaniu zjawisk awaryjnych w stanach zwarć. Opracowałem szereg sparametryzowanych analitycznych modeli matematycznych silnika, które do dnia dzisiejszego są używane przez inżynierów z YASA Motors. Ponadto opracowałem skrypty obliczeniowe oparte na równaniach analityczno-empirycznych do projektowania silników ze strumieniem osiowym z możliwością analizy parametrów użytecznych przy uwzględnieniu zjawisk termicznych występujących w silniku. Prowadziłem samodzielnie badania nad zagadnieniami wpływu dokładności montowanych elementów silnika na jego wydajność oraz badania związane z zwiększeniem żywotności silnika podczas jego eksploatacji (ang. sensitivity analysis). Listę projektów badawczych w które byłem wdrożony oraz których byłem liderem zestawilem w załączniku nr. 7.

Współpraca z jednostkami naukowo-badawczymi

Okres lat 2012-2017 to nie tylko praca w zagranicznych przemysłowych jednostkach badawczych gdzie wyrobiłem sobie pozycję samodzielnego naukowca, ale również okres czasu intensywnej współpracy z Politechniką Opolską i Politechniką Rzeszowską. Efektem tej współpracy było ponad 20 prac naukowych napisanych w czasopismach tj. Archives of Electrical Engineering (AEE), Przegląd Elektrotechniczny, Analysis and Simulation of Electrical and Computer System – Springer i The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering (COMPEL). Większość zagadnień naukowych w tym okresie czasu dotyczyło projektów silników elektrycznych do aplikacji pojazdów elektrycznych i hybrydowych liczących się producentów na rynku samochodowym - głównie na rynku europejskim.

Powrót do pracy naukowej w Politechnice Opolskiej

Pod koniec roku 2017 wróciłem do pracy na stanowisku adiunkta w Politechnice Opolskiej. Do moich obowiązków należy m.in. prowadzenie prac dyplomowych, recenzowanie prac naukowych oraz przygotowanie nowych projektów badawczych w odniesieniu do zminimalizowania kosztów produkcji silnika elektrycznego z magnesami trwałymi wykorzystywanego do aplikacji pojazdów elektrycznych. Na początku roku 2018 objąłem kierownictwo nad zespołem badawczym pracującym nad projektem dotyczącym opracowania kilku prototypów silnika elektrycznego o mocy 75 kW do aplikacji pojazdu elektrycznego typu SUV. Projekt był finansowany ze środków UE oraz przez firmę Auto Power Electronic (APE) z Opola. Głównymi celami pracy było zaprojektowanie silników z strumieniem radialnym z uzwojeniem rozłożonym i skupionym. Wymagania jakie były określone przez firmę APE to zminimalizowanie momentu zaczepowego do minimum, zminimalizowanie pulsacji momentu elektromagnetycznego, zmniejszenie harmonicznego momentu zaczepowego oraz zminimalizowanie prądów wirowych w magnesach i w rdzeniu stojana. Projekt zakończył się sukcesem.



Dr inż. Adrian Młot