

**CEZARY JĘDRYCZKA**  
**POLITECHNIKA POZNAŃSKA**  
**WYDZIAŁ ELEKTRYCZNY**

**ZAŁĄCZNIK 2.**

**Autoreferat przedstawiający opis dorobku i osiągnięć naukowych**

## AUTOREFERAT

### 1. Imię i nazwisko

Cezary Jędrzycka

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

Magister inżynier elektryk, Politechnika Poznańska, 2005 r.

Doktor nauk technicznych. Dziedzina nauki: nauki techniczne. Dyscyplina naukowa: Elektrotechnika. Specjalność: metody numeryczne w mechatronice. Stopień nadany uchwałą Rady Wydziału Elektrycznego Politechniki Poznańskiej w dniu 14.12.2010 na podstawie rozprawy pt. *„Polowa analiza stanów nieustalonych w magnetoreologicznych układach przenoszenia sił oraz momentów obrotowych”*, Politechnika Poznańska, 2010.

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

Od 01.10.2008 do 30.09.2013 zatrudniony na stanowisku asystenta w Instytucie Elektrotechniki Przemysłowej na Wydziale Elektrycznym Politechniki Poznańskiej.

Od 01.10.2013 r. do chwili obecnej zatrudniony na stanowisku adiunkta w Instytucie Elektrotechniki i Elektroniki Przemysłowej na Wydziale Elektrycznym Politechniki Poznańskiej.

### 4. Wskazanie osiągnięcia naukowego 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. nr 65, poz. 595 ze zm.):

#### a) Tytuł osiągnięcia naukowego

Cykl publikacji powiązanych tematycznie pod wspólną nazwą: *„Polowe i polowo-obwodowe modele w projektowaniu i optymalizacji magnetoelektrycznych maszyn synchronicznych”* – cykl zawiera łącznie 10 pozycji.

**b) Publikacje lub inne prace wchodzące w skład osiągnięcia naukowego**

- [1] **Cezary Jędrzycka, Rafał M. Wojciechowski, Andrzej Demenko, 2014, *Finite element analysis of the asynchronous torque in LSPMSM with non-symmetrical squirrel cage winding*, International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics (IJAEM), Vol. 46, No. 2, pp. 367 - 373.**
- [2] **Cezary Jędrzycka, Rafał M. Wojciechowski, Andrzej Demenko, 2015, *Influence of squirrel cage geometry on the synchronisation of the line start permanent magnet synchronous motor*, IET Science, Measurement and Technology, Vol. 9, No. 2, pp. 197-203.**
- [3] **Łukasz Knypiński, Lech Nowak, Cezary Jędrzycka, 2015, *Optimization of the rotor geometry of line-start permanent magnet synchronous motor by the use of particle swarm algorithm*, COMPEL - The International Journal For Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering, Vol. 34, No. 3, pp. 882 - 892.**
- [4] **Łukasz Knypiński, Cezary Jędrzycka, Andrzej Demenko, 2017, *Influence of the shape of squirrel-cage bars on the dimensions of permanent magnets in an optimized line-start permanent magnet synchronous motor*, COMPEL - The International Journal For Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering, Vol. 36, No. 1, pp. 298 - 308.**
- [5] **Cezary Jędrzycka, Łukasz Knypiński, Andrzej Demenko, Jan Sykulski, 2017, *Methodology for cage shape optimization of a permanent magnet synchronous motor under line start conditions*, 21st International Conference on the Computation of Electromagnetic Fields, Daejeon, Korea, Republic of. 18 - 22 Jun 2017, 2 pp.**
- [6] **Cezary Jędrzycka, Marcin Nowak, Kazimierz Radziuk, Dorota Stachowiak, 2013, *Magnesy hybrydowe w silnikach synchronicznych o rozruchu bezpośrednim*, Przegląd Elektrotechniczny, R. 89, Nr 9/2013, pp. 44 - 47.**
- [7] **Cezary Jędrzycka, Wojciech Szeląg, Jerry Piech, 2016, *Multiphase permanent magnet synchronous motors with fractional slot windings - the future of low speed drives?*, COMPEL - The International Journal For Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering, Vol. 35, No. 6, pp. 1937 - 1948.**
- [8] **Cezary Jędrzycka, *Comparative analysis of the three- and six-phase fractional slot concentrated winding permanent magnet machines*, COMPEL - The International Journal For Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering, Vol. 36, No. 3, 2017, pp. 811 - 823.**
- [9] **Cezary Jędrzycka, Wojciech Szeląg, 2017, *Analysis of the multi-drive powered permanent magnet synchronous motor under drive fault conditions*, International Symposium on Electrical Machines (SME), Naleczow, Poland, pp. 1 - 4.**
- [10] **Zbigniew Piech, Cezary Jędrzycka, Wojciech Szeląg, 2015, *Drive unit for multiphase permanent magnet synchronous motor*, zgłoszenie patentowe nr WO 2015105510 A1, data publikacji 16 Lip. 2015.**



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

Przedstawiony zbiór publikacji naukowych powiązanych tematycznie obejmuje wyniki badań nad polowymi i polowo-obwodowymi modelami zjawisk elektromagnetycznych przystosowanymi do projektowania i optymalizacji magnetoelektrycznych silników synchronicznych o rozruchu bezpośrednim [1-6] oraz maszyn elektrycznych z magnesami trwałymi o uzwojeniach skupionych [7-10], w tym maszyn zasilanych wielo-przekształtnikowo. Zadanie syntezy przetworników elektromechanicznych w ogólnym przypadku jest niejednoznaczne. Przy jego formułowaniu kluczowym elementem jest poprawne zdefiniowanie tzw. funkcji celu. W procesie optymalizacji dla przyjętych ograniczeń i postulowanych wartości parametrów funkcjonalnych dąży się zazwyczaj do maksymalnego wyzyskania obwodu magnetycznego, minimalizacji strat oraz kosztów wytwarzania projektowanego urządzenia. W odniesieniu do rozpatrywanych układów zadanie syntezy sprowadza się do wielokrotnego rozwiązania zadania analizy przy różnych wartościach wielkości wejściowych przyjętego modelu rozpatrywanego przetwornika. W procesie analizy wykorzystywać można: a) modele obwodowe bazujące na schematach zastępczych o parametrach skupionych oraz b) dyskretne modele polowe. Z uwagi na złożoną strukturę obwodu magnetycznego oraz nieliniowy charakter zjawisk występujących w rozważanych przetwornikach, modele wykorzystujące schematy zastępcze nie gwarantują dostatecznej dokładności. W przeszłości, po wykonaniu obliczeń projektowych na podstawie modeli obwodowych, weryfikowano je budując często kosztowne prototypy. Obecnie w projektowaniu coraz powszechniej wykorzystywane są dyskretne modele polowe. W rozpatrywanym ujęciu są to modele zjawisk sprzężonych, które zawierają równania pola elektromagnetycznego i równania ruchu środowisk oraz występujące w nich relacje opisujące na podstawie rozkładu pola magnetycznego momenty obrotowe i siły pochodzenia magnetycznego. Obecnie na rynku dostępne są profesjonalne - uniwersalne środowiska obliczeniowe umożliwiające wyznaczenie rozkładów pól metodą elementów skończonych. W celu zwiększenia wydajności obliczeniowej twórcy tych narzędzi wykorzystują osiągnięcia z dziedziny technik numerycznych pozwalających między innymi na prowadzenie obliczeń równoległych, czy wykorzystanie procesorów kart graficznych do rozwiązywania układów równań algebraicznych uzyskiwanych w wyniku zastosowania metody elementów skończonych. Aktualnie pomimo dostępności tego typu narzędzi, z uwagi na znaczną złożoność obliczeniową dyskretnych modeli polowych wykorzystuje się je zazwyczaj tylko do weryfikacji wyników na poszczególnych etapach obliczeń projektowych. W obliczeniach





optymalizacyjnych, ze względu na konieczność wielokrotnego powtarzania obliczeń symulacyjnych, **kluczowe staje się świadome tworzenie efektywnych obliczeniowo modeli numerycznych**. Konieczne jest opracowanie skutecznych metod projektowania i oceny parametrów funkcjonalnych rozpatrywanych typów maszyn z uwzględnieniem specyfiki występujących w nich zjawisk. Należy przy tym poszukiwać rozwiązań kompromisowych, które nie będą nadmiernie chłonne obliczeniowo, ale zapewnią dużą wiarygodność wyników, taką, że nie będzie konieczne wykonywanie wielu kosztownych prototypów. W tym celu konieczne jest także opracowywanie procedur dostosowujących dostępne, uniwersalne systemy obliczeniowe do specyfiki przyjętego zadania syntezy przetworników elektromechanicznych. Istotnym aspektem jest też definiowanie kryteriów i formułowanie metod i efektywnych algorytmów oceny parametrów funkcjonalnych rozważanych urządzeń. W rezultacie uzyskuje się możliwość wykorzystania dokładnych modeli polowych w procesie projektowania i optymalizacji, dzięki czemu unika się budowy kosztownych prototypów. Ma to szczególne znaczenie w przypadku dużych maszyn, układów wykorzystujących nowe, często jeszcze drogie materiały oraz w poszukiwaniu nowych struktur przetworników elektromechanicznych. W związku z powyższym autor wniosku postawił sobie zadanie naukowe zmierzające do opracowania metod i specjalnych narzędzi pozwalających na skuteczne powiązanie metod analizy pola elektromagnetycznego z uwzględnieniem zjawisk sprzężonych z metodami obliczeń projektowych i optymalizacyjnych maszyn elektrycznych o magnesach trwałych. Z uwagi na różnorodność struktur obwodów magnetycznych przetworników elektromechanicznych trudno jest opracować jedno uniwersalne podejście do ich projektowania w ujęciu polowym.

Autor skoncentrował się na maszynach magnetoelektrycznych, których konstrukcje są w ostatnich latach dynamicznie rozwijane i udoskonalane. W ramach prowadzonych badań autor opracował efektywne modele numeryczne do potrzeb ich analizy, projektowania i optymalizacji. Prowadzone badania dotyczyły magnetoelektrycznych silników synchronicznych przystosowanych do rozruchu bezpośredniego [1-6] oraz maszyn o uzwojeniach skupionych zasilanych wielo-przekształtnikowo [7-10], w tym maszyn wielofazowych. W swoich badaniach autor wniosku uwzględnił wynikającą z dużej smukłości symetrię płaszczyznową obwodów magnetycznych rozpatrywanych maszyn. Natomiast odnośnie zjawisk cieplnych uwzględniano je w sposób uproszczony przez ograniczenie dopuszczalnej gęstości prądu w uzwojeniach. Przy określaniu paramentów materiałów magnetycznie twardych oraz konduktywności materiałów przewodzących zakładano, że znane są temperatury poszczególnych podzespołów maszyny.



Do potrzeb obliczeń projektowych i optymalizacyjnych autor wniosku opracował własne oprogramowanie do analizy i syntezy uzwojeń skupionych maszyn magnetoelektrycznych [7-9]. Autor badał zawartość podharmonicznych rozkładu przestrzennego sił magnetomotorycznych dla różnych struktur połączeń cewek w ramach uzwojeń fazowych. Autor zaproponował własną metodę kodowania schematów uzwojeń za pomocą numeracji fazorów docelowych układów wielofazowych. Do oceny projektowanych uzwojeń zaproponował wykorzystanie współczynnika uzwojenia, oraz współczynnika zawartości harmonicznego rozkładu przestrzennego sił magnetomotorycznych żłobkowych.

Osiągnięcia autora w dziedzinie formułowania efektywnych modeli polowych i polowo-obwodowych zostały wykorzystane do analizy i projektowania maszyn synchronicznych o niekonwencjonalnych strukturach obwodu magnetycznego z wirnikami o rdzeniach wytwarzanych z wykorzystaniem nowoczesnych technologii proszkowych oraz magnesami hybrydowymi [6].

Celem naukowym badań omówionych w załączonym cyklu publikacji było pogłębienie teorii oraz opracowanie efektywnych numerycznych modeli do analizy sprzężonych zjawisk polowych w magnetoelektrycznych maszynach synchronicznych. Badania te były ukierunkowane na opracowanie efektywnych narzędzi umożliwiających prowadzenie obliczeń projektowych i optymalizacyjnych rozpatrywanych przetworników z wykorzystaniem oprogramowania własnego oraz profesjonalnych systemów do obliczeń elektromagnetycznych. Motywacją do podjęcia tych badań były zainteresowania autora wniosku związane z poszukiwaniem skutecznych metod analizy i syntezy klasycznych rozwiązań konstrukcyjnych maszyn synchronicznych magnetoelektrycznych oraz nowych struktur przetworników elektromechanicznych z magnesami trwałymi.

ad. [1] **Cezary Jędryczka**, Rafał M. Wojciechowski, Andrzej Demenko, 2014, *Finite element analysis of the asynchronous torque in LSPMSM with non-symmetrical squirrel cage winding*, International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics (IJAEM), Vol. 46, No. 2, pp. 367 - 373.

Omawiana praca dotyczy badań autora wniosku nad opracowaniem modeli polowych dostosowanych do specyfiki obliczeń projektowych i optymalizacyjnych magnetoelektrycznych maszyn synchronicznych przystosowanych do rozruchu asynchronicznego poprzez bezpośrednie załączenie do sieci zasilającej (ang. *Line Start Permanent Magnet Synchronous Motor*, LSPMSM). W prezentowanych badaniach autor wniosku zajmował się





między innymi poszukiwaniem skutecznych metod oceny parametrów rozruchowych. Niestety bezpośrednie wykorzystanie dyskretnych modeli polowych w powiązaniu z metodą kolejnych kroków czasowych do oceny właściwości rozruchowych maszyn LSPMSM prowadzi do praktycznie nieakceptowanych czasów rozwiązywania zadania syntezy, a w szczególności zadania optymalizacji. Do oceny poprawności procesu rozruchu (uzyskania synchronizacji) konieczna jest bowiem symulacja pełnego procesu rozruchu maszyny. Wymaga to przeprowadzenia analizy niestacjonarnego pola elektromagnetycznego z uwzględnieniem równania dynamiki elementów ruchomych oraz równań obwodu zasilającego. Przy czym, zwrócono uwagę na duży wpływ momentu bezwładności obciążenia na poprawną synchronizację maszyn LSPMSM. Jest to parametr szczególnie istotny dla obciążeń o wentylatorowej charakterystyce momentu obrotowego w funkcji prędkości obrotowej. Dlatego do oceny parametrów rozruchowych maszyn LSPMSM, poza momentem rozruchowym, zaproponowano parametr  $k_{max}$ , określający dopuszczalną krotność momentu bezwładności obciążenia w stosunku do momentu bezwładności rozpatrywanej maszyny, gwarantujący poprawną synchronizację. Wyznaczenie wartości parametru  $k_{max}$  dla danego silnika wymaga zatem wielokrotnego przeprowadzenia symulacji procesu rozruchu przy rosnących wartościach momentu bezwładności obciążenia. Potrzeba wielokrotnej oceny parametrów rozruchowych maszyny (wyznaczenia parametru  $k_{max}$ ) dla zbioru wartości zmiennych decyzyjnych/projektowych prowadzi do drastycznego wzrostu czasu obliczeń oraz wielu trudności w implementacji algorytmu (np. nieznaną a priori liczbą wywołań symulacji procesu rozruchu dla wyznaczenia wartości funkcji celu). Z powyższych względów do oceny właściwości rozruchowych autor zaproponował strategię polegającą na wykorzystaniu do oceny parametrów rozruchowych wartości momentu asynchronicznego generowanego przez uzwojenie klatkowe dla prędkości zbliżonej do prędkości synchronicznej. Moment ten w dalszej części opisu nazwano składową asynchroniczną momentu synchronizującego i oznaczono  $T_{as}$ . Metodologię oraz algorytm wyznaczania wartości  $T_{as}$  na podstawie modelu polowego maszyny omówiono szczegółowo w pracy [1]. Zaproponowano autorski algorytm wyznaczenia wartości  $T_{as}$  na podstawie rozkładu pola magnetycznego z uwzględnieniem ruchu wirnika i nieliniowości obwodu magnetycznego. Przy czym do analizy stanów przejściowych zastosowano metodę kroków czasowych (*ang.* step by step). Algorytm pozwala na obliczenie średniej wartości składowej asynchronicznej momentu





synchronizującego na podstawie rozwiązań dla stosunkowo niewielkiej liczby kroków czasowych, bez konieczności uwzględniania w modelu dyskretnym równania dynamiki. W efekcie uzyskuje się znaczną redukcję czasu obliczenia komponentu funkcji celu reprezentującego parametry rozruchowe silnika.

-----

- ad. [2] **Cezary Jędryczka**, Rafał M. Wojciechowski, Andrzej Demenko, 2015, *Influence of squirrel cage geometry on the synchronisation of the line start permanent magnet synchronous motor*, IET Science, Measurement and Technology, Vol. 9, No. 2, pp. 197 - 203.

Omawiany artykuł nawiązuje do wyników badań przedstawionych w [1]. Wykazano w nim skuteczność zaproponowanej strategii oceny parametrów rozruchowych maszyn LSPMSM na podstawie modelu polowego. Rozpatrzono maszynę o złożonej strukturze obwodu magnetycznego. W celu poprawy właściwości synchronizacyjnych rozpatrywanych silników dla dużych momentów bezwładności zaproponowano modyfikację klasycznego kształtu uzwojenia klatkowego, polegającą na umieszczeniu w wirniku maszyny dwóch typów prętów: (a) o przekroju kołowym, umiejscowionych w obszarach pomiędzy biegunami wirnika i (b) kropłowych położonych w obszarach biegunów. Przeprowadzone badania wykazały skuteczność zaproponowanego podejścia oraz celowość stosowania prętów kropłowych w wirnikach maszyn LSPMSM dostosowanych do napędów wentylatorów. Skuteczność zaproponowanej metody i opracowanych algorytmów zachęciły autora do polecania ich do stosowania w obliczeniach projektowych i optymalizacyjnych silników LSPMSM.

-----

- ad. [3] Łukasz Knypiński, Lech Nowak, **Cezary Jędryczka**, 2015, *Optimization of the rotor geometry of line-start permanent magnet synchronous motor by the use of particle swarm algorithm*, COMPEL - The International Journal For Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering, Vol. 34, No. 3, pp. 882 - 892.

W pracy [3] poświęconej obliczeniom optymalizacyjnym maszyn LSPMSM przedstawiony został autorski system obliczeniowy wykorzystujący efektywny algorytm roju cząstek. W opracowanym systemie skutecznie zaimplementowano profesjonalne środowisko Maxwell EM służące do wyznaczania rozkładu pola elektromagnetycznego z wykorzystaniem metody elementów skończonych. Oprogramowanie komercyjne uzupełniono autorskimi procedurami



umożliwiający parametryzację opracowanych modeli numerycznych. Parametryzacja dotyczyła między innymi wymiarów i rozmieszczenia magnesów trwałych. Sprzężenie autorskiego oprogramowania optymalizacyjnego z numerycznymi modelami maszyny wymagało przygotowania szeregu dodatkowych procedur. Opracowane przez autora procedury umożliwiają z jednej strony zmianę parametrów wejściowych modelu (zmiennych decyzyjnych opisujących na przykład wymiary i rozmieszczenie w wirniku silnika typu LSPMSM magnesów trwałych), z drugiej strony pozwalają na obliczanie wartości przyjętej funkcji celu. Omawiane procedury napisano w skrypcowym języku *Visual Basic*.

Opracowanie własnych procedur sprzęgających moduł optymalizacyjny z oprogramowaniem komercyjnym autor uważa za jedno z największych osiągnięć w badaniach nad algorytmami projektowania i optymalizacji silników LSPMSM w ujęciu polowym.

---

ad. [4] Łukasz Knypiński, **Cezary Jędryczka**, Andrzej Demenko, 2017, *Influence of the shape of squirrel-cage bars on the dimensions of permanent magnets in an optimized line-start permanent magnet synchronous motor*, COMPEL – The International Journal For Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering, Vol. 36, No. 1, pp. 298 - 308.

Wyniki badań autora nad efektywnymi modelami numerycznymi maszyn LSPMSM oraz procedurami skrypcowymi dostosowującymi profesjonalne środowisko Maxwell EM z powodzeniem wykorzystano także w badaniach zrelacjonowanych w pracy [4]. O ile w artykule [3] rozważono maszynę o prętach klatki rozruchowej o przekroju okrągłym, to w pracy [4] skoncentrowano się na badaniach porównawczych procesu optymalizacji maszyn LSPMSM o różnych kształtach przekroju poprzecznego prętów uzwojenia klatkowego. Badania te, podobnie jak w pracy [3], dotyczyły optymalizacji układu wzbudzenia maszyny LSPMSM, tj. rozmieszczenia i wymiarów magnesów trwałych. W celu przeprowadzenia badań autor opracował sparametryzowane modele numeryczne silników LSPMSM opisujące układ wzbudzenia maszyny, tj. wymiary oraz umiejscowienie magnesów trwałych w wirniku.

Dodatkowo, w ramach badań opisanych w artykule [4] przeprowadzono porównanie dwóch metod obliczeń projektowych:

- metody opracowanej przez autora wykorzystującej model polowy,





- klasycznej metody wykorzystującej model obwodowy bazujący na schematach zastępczych.

Na podstawie uzyskanych wyników autor wykazał, że obliczenia z wykorzystaniem modelu obwodowego prowadzą do znaczących błędów w ocenie parametrów funkcjonalnych maszyny, szczególnie silników o okrągłych prętach uzwojenia klatkowego. Błędy te spowodowane są głównie nieliniowością obwodu magnetycznego.

-----

ad. [5] **Cezary Jędrzycka**, Łukasz Knypiński, Anadrzej Demenko, Jan Sykulski, 2017, *Methodology for cage shape optimization of a permanent magnet synchronous motor under line start conditions*, 21st International Conference on the Computation of Electromagnetic Fields, Daejeon, Korea, Republic of. 18 - 22 Jun 2017, 2 pp.

Badania związane z wykorzystaniem modeli polowych w obliczeniach projektowych i optymalizacyjnych maszyn LSPMSM kontynuowano rozszerzając proces optymalizacji o zmienne decyzyjne opisujące kształt klatki rozruchowej. W tym celu autor zaproponował modyfikacje wcześniej opracowanych modeli numerycznych, procedur optymalizacyjnych jak też procedur skryptowych wykorzystanych do sprzężenia modułu obliczeniowego oraz optymalizacyjnego. Zaproponowano strategię optymalizacji kształtu klatki rozruchowej maszyn LSPMSM z wykorzystaniem zmodyfikowanego algorytmu roju. Przy formułowaniu wielokryterialnej funkcji celu wykorzystano efekty wcześniejszych badań dotyczących projektowania i optymalizacji silników LSPMSM w ujęciu polowym. W procesie optymalizacji poza parametrami charakteryzującymi ustalony stan pracy maszyny (współczynnik mocy oraz sprawność) uwzględniono parametry rozruchowe wykorzystując do ich oceny wartość składowej asynchronicznej momentu synchronizującego. Skuteczność zaproponowanej strategii wykazano na przykładzie optymalizacji maszyny testowej o mocy 4kW. Uzyskane wyniki obliczeń optymalizacyjnych zweryfikowano przeprowadzając symulacje rozruchu silnika przy sukcesywnie zwiększonym momencie bezwładności obciążenia. W celu zwiększenia efektywności autor zaproponował metodę obliczeń, w której ocena parametrów charakteryzujących stan ustalony oraz stan przejściowy związany z procesem rozruchu realizowana jest równoległe z wykorzystaniem dwóch niezależnych, dostosowanych do charakteru rozpatrywanych stanów pracy maszyny, modeli





numerycznych. Zaproponowane przez autora zrównoleglenie symulacji pozwoliło na znaczną redukcję czasu obliczeń. Dodatkowo dzięki niezależności opracowanych modeli numerycznych możliwe było ich dostosowanie do charakteru rozpatrywanych stanów pracy maszyny poprzez odpowiedni dobór gęstości siatki dyskretyzującej.

Opracowaną strategię optymalizacji uzwojenia klatkowego silników LSPMSM oraz wyniki przeprowadzonych badań symulacyjnych zaprezentowano w pracy [5]. Wersja rozszerzona omawianego artykułu została zaakceptowana do druku w *IEEE Transactions on Magnetics* i ukaże się w 2018 roku.

-----

- ad. [6] **Cezary Jędrzycka**, Marcin Nowak, Kazimierz Radziuk, Dorota Stachowiak, 2013, *Magnesy hybrydowe w silnikach synchronicznych o rozruchu bezpośrednim*, Przegląd Elektrotechniczny, R. 89, Nr 9/2013, pp. 44 - 47.

Do jednych z nowszych rozwiązań technologii proszkowej zaliczają się magnetyczne elementy hybrydowe. Wykonywane są one w jednym procesie technologicznym z przynajmniej dwóch materiałów o różnych właściwościach magnetycznych. W przypadku magnesów hybrydowych mogą to być magnesy wytwarzane z mieszanek proszków różnych materiałów lub magnesy o strukturze warstwowej. Właściwości takich hybrydowych magnesów można kształtować w taki sposób, by dostosować je do konstrukcji i wymagań projektowanej maszyny elektrycznej. Pionierskie badania opisane w [6] miały na celu wyselekcjonowanie optymalnych struktur obwodów magnetycznych silników synchronicznych przystosowanych do rozruchu bezpośredniego o magnesach hybrydowych. W ramach tych badań opracowano modele polowo-obwodowe innowacyjnych struktur silników o magnesach hybrydowych złożonych z silniejszych magnesów wytwarzanych metodą spiekania i słabszych dielektromagnesów. Przy tworzeniu modeli sparametryzowano wybrane wymiary geometryczne i współczynniki materiałowe magnesów. Autor opracował m.in. oprogramowanie, w którym przewidział możliwość połączenia komercyjnych procedur obliczeniowych z własnymi procedurami optymalizacyjnymi rozpatrywanych konstrukcji silników.

Skuteczność opracowanych modeli i procedur wykazano na przykładach obliczeń symulacyjnych przeprowadzonych dla wybranych konstrukcji silników LSPMSM o magnesach hybrydowych. Otrzymane wyniki obliczeń porównano



z wynikami dla struktur silników z powszechnie stosowanymi magnesami neodymowymi wytwarzanymi metodą spiekania. Rozpatrywane układy różniły się konstrukcją wirnika. W analizie porównawczej skoncentrowano się na badaniach wpływu hybrydyzacji magnesów na rozkład indukcji magnetycznej, przebieg siły elektromotorycznej rotacji oraz na przebieg prędkości obrotowej podczas rozruchu badanych maszyn.

Na podstawie analizy otrzymanych wyników stwierdzono, że magnesy hybrydowe należy stosować wszędzie tam, gdzie ważne jest ograniczenie pulsacji momentu i obniżenie współczynnika zawartości wyższych harmonicznych siły elektromotorycznej nawet kosztem pogorszenia sprawności i współczynnika mocy, a także w celu poprawienia parametrów rozruchowych silnika.

Badania opisane w artykule pokazują również, że opracowany autorski algorytm obliczeń można stosować nie tylko dla silników LSPMSM z klasycznym obwodem magnetycznym z magnesami spiekanymi, ale możliwe jest jego dostosowanie do obliczeń maszyn o magnesach hybrydowych.

-----



We współczesnych układach napędowych o regulowanej prędkości obrotowej coraz częściej stosuje się trójfazowe maszyny magnetoelektryczne o tzw. uzwojeniach skupionych, w których cewki nawijane są na pojedynczych zębach maszyny. Ze względu na skrócenie połączeń czołowych możliwa jest redukcja kosztów wytwarzania maszyny oraz ograniczenie strat w uzwojeniach. Ponadto technologia formowania uzwojeń skupionych jest znacznie prostsza i tańsza niż klasycznych uzwojeń rozłożonych w żłobkach. Należy także zwrócić uwagę, że stosowanie uzwojeń skupionych umożliwia segmentację rdzenia stojana maszyny w obrębie pojedynczych podziałek zębowych, co obniża koszty produkcji maszyn o dużej mocy. Niestety w maszynach o uzwojeniach skupionych przestrzenny rozkład siły magnetomotorycznej jest silnie odkształcony i znacznie różni się od rozkładu sinusoidalnego, typowego dla maszyn o uzwojeniach rozłożonych. Znaczny udział wyższych harmonicznych w rozkładzie przestrzennym siły magnetomotorycznej, przy nieodpowiednim doborze stosunku liczby zębów stojana i biegunów wirnika powoduje występowanie znacznych strat dodatkowych w obwodzie magnetycznym maszyny. Pomimo to, ze względu na szereg omówionych wyżej zalet aktualnie w wielu ośrodkach badawczych na świecie prowadzone są intensywne prace badawcze nad analizą maszyn o uzwojeniach skupionych i poszukiwaniem optymalnych konstrukcji ich obwodów magnetycznych. Należy podkreślić, że ze względu na złożoność zjawisk elektromagnetycznych występujących w tych maszynach do tej pory nie ma publikacji kompleksowo ujmujących poruszaną tematykę obliczeń projektowych i optymalizacyjnych tego typu maszyn.

Badania autora związane z wykorzystaniem modeli polowych i polowo-obwodowych w obliczeniach projektowych i optymalizacyjnych maszyn o uzwojeniach skupionych są przedmiotem grupy publikacji [7-10].

ad. [7] **Cezary Jędrzycka**, Szeląg Wojciech, Piech Jerry, 2016, *Multiphase permanent magnet synchronous motors with fractional slot windings - the future of low speed drives?*, COMPEL – The International Journal For Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering, Vol. 35, No. 6, pp. 1937 - 1948.

W artykule zaproponowano i omówiono koncepcję nowatorskich wielofazowych maszyn synchronicznych magnetoelektrycznych o uzwojeniach skupionych. Wykazano przy tym zalety maszyn wielofazowych przystosowanych do zasilania z układu wielo-przekształtnikowego złożonego z  $k$  klasycznych przekształtników trójfazowych. Zaproponowano autorski algorytm kodowania struktury połączeń cewek uzwojeń fazowych maszyny bazujący na notacji





fazorów gwiazdy napięć układu zasilającego. Zaproponowano również metodologię oceny struktury uzwojenia rozpatrywanych maszyn na podstawie analizy rozkładu przestrzennego sił magnetomotorycznych żłobkowych oraz wartości współczynnika uzwojenia dla harmonicznej podstawowej. Do potrzeb metodologii autor opracował własne oprogramowanie wspomagające proces projektowania uzwojeń wielofazowych maszyn synchronicznych. Oprogramowanie to wykorzystano do zaprojektowania uzwojeń i obwodów magnetycznych testowych maszyn magnetoelektrycznych o 3, 6 i 9 fazowych uzwojeniach skupionych. W celu potwierdzenia przydatności zaproponowanej metodologii analizy i oceny parametrów funkcjonalnych rozpatrywanych maszyn testowych autor opracował ich polowe modele numeryczne oraz z powodzeniem wykorzystał je w przeprowadzonych badaniach symulacyjnych. Skoncentrował się na analizie przebiegu momentu elektromagnetycznego oraz przebiegów indukowanych sił elektromotorycznych. Przeprowadzone badania wykazały w przekonujący sposób zalety rozpatrywanych maszyn wielofazowych.

W omawianym artykule rozważono także obszary potencjalnych zastosowań rozpatrywanych maszyn. Wskazano między innymi na zastosowania we współczesnych układach napędowych wind, np. w inteligentnych budynkach, układach pozycjonowania wymagających dużych momentów obrotowych oraz jako generatory w siłowniach wiatrowych. Zwrócono również uwagę na zwiększenie poziomu niezawodności układu napędowego z rozważanymi silnikami wielo-trójfazowymi poprzez umożliwienie jego zasilania jednocześnie z wielu identycznych trójfazowych przekształtników energoelektronicznych.

- 
- ad. [8] **Cezary Jędrzycka**, 2017, *Comparative analysis of the three- and six-phase fractional slot concentrated winding permanent magnet machines*, COMPEL – The International Journal For Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering, Vol. 36 No. 3, pp. 811 - 823.

Omawiany artykuł nawiązuje do osiągnięć i wyników badań przedstawionych w [7]. Opisaną w pracy [7] metodologię analizy wykorzystano w badaniach porównawczych maszyn trój- i sześciofazowych. Rozważono dwie 44 biegunowe testowe maszyny magnetoelektryczne o identycznych wymiarach obwodu magnetycznego różniące się tylko strukturą uzwojenia oraz układu zasilającego. Wykorzystując autorską metodę syntezy struktury uzwojeń skupionych zaprojektowano jedno- i dwuwarstwowe uzwojenia dla



rozpatrywanych maszyn testowych. Na podstawie analizy wyników przeprowadzonych badań symulacyjnych autor wykazał, że obie zaproponowane nowatorskie maszyny sześćofazowe (z uzwojeniem jedno- i dwuwarstwowym) charakteryzują się znacznie mniejszymi tętnieniami momentu elektromagnetycznego niż odpowiadające im klasyczne maszyny zasilane trójfazowo, w skrajnym przypadku ponad siedmiokrotnie. Stwierdzono ponadto, że zaproponowane struktury uzwojenia sześćofazowego oraz sposób zasilania pozwala, przy tym samym wymuszeniu, uzyskiwać większą, do ok. 5%, wartość momentu elektromagnetycznego niż w maszynach zasilanych z klasycznego układu trójfazowego. Na potrzeby analizy rozpatrywanych maszyn w ujęciu polowym opracowano autorskie modele numeryczne w profesjonalnym środowisku do analizy rozkładu pola magnetycznego z wykorzystaniem metody elementów skończonych.

Do istotnych wad maszyn magnetoelektrycznych o uzwojeniach skupionych zalicza się występowanie relatywnie dużych sił radialnych pochodzenia elektromagnetycznego. Dla zazwyczaj stosowanych uzwojeń symetrycznych siły te kompensują się wzdłuż obwodu wirnika, zatem wypadkowa siła globalna działająca na wirnik w płaszczyźnie prostopadłej do osi wału maszyny podczas pracy w warunkach ustalonych, jest bliska zeru. Występowanie sił radialnych powoduje jednak lokalne odkształcenia obwodu magnetycznego i jest jednym z głównych źródeł tzw. "hałasu magnetycznego". Na podstawie wniosków dotyczących znacznej redukcji zawartości wyższych harmonicznych rozkładu przestrzennego sił magnetomotorycznych żłobkowych w maszynach wielofazowych autor wskazał na możliwość obniżenia wartości sił radialnych w rozważanych maszynach wielofazowych. W celu potwierdzenia tej tezy autor zmodyfikował opracowane modele polowe przystosowując je do wyznaczenia rozkładu krawędziowej gęstości sił radialnych wzdłuż obwodu szczeliny. W celu przeprowadzenia analizy porównawczej pomiędzy maszynami trój- i sześćofazowymi autor opracował dedykowane skrypty w języku *Visual Basic* oraz własne oprogramowanie do analizy zawartości harmonicznych przestrzennych w uzyskanych rozkładach gęstości sił krawędziowych. Wyniki analizy porównawczej potwierdziły przewidywania autora i wykazały znaczną redukcję wartości harmonicznych niskiego rzędu w maszynach sześćofazowych w stosunku do odpowiadających im maszyn trójfazowych.

-----





- ad. [9] **Cezary Jędrzycka**, Wojciech Szelaąg, 2017, *Analysis of the multi-drive powered permanent magnet synchronous motor under drive fault conditions*, International Symposium on Electrical Machines (SME), Naleczow, Poland, pp. 1 - 4.

Tematykę związaną z badaniami nad wykorzystaniem modeli polowych i polowo-obwodowych do potrzeb projektowania wielofazowych maszyn o uzwojeniach ułankowo-żłobkowych kontynuowano, rezultaty badań opublikowano w artykule [9]. W pracy skoncentrowano się na analizie awaryjnych stanów pracy wielo-przekształtnikowego układu zasilającego magnetoelektryczne maszyny trój- i wielofazowe. Autor zaproponował polowy algorytm analizy maszyn pracujących w warunkach uszkodzenia jednego z wielu przekształtników tworzących ich układ zasilania. Opracowany algorytm wykorzystał do przeprowadzenia badań porównawczych maszyn 3, 6 i 9 fazowych pracujących w warunkach awaryjnych. W badaniach tych autor skoncentrował się na porównaniu przebiegów momentu elektromagnetycznego oraz sił pochodzenia magnetycznego działających na wirnik maszyny. W celu umożliwienia oceny i porównania otrzymanych przebiegów sił autor zaproponował metodę ich analizy na wykresach kołowych reprezentujących podziałkę magnetyczną rozpatrywanej maszyny. Na podstawie przeprowadzonych badań autor wniosku wykazał, że zaproponowane maszyny wielofazowe w odróżnieniu od klasycznych maszyn trójfazowych pozwalają na poprawną pracę w warunkach uszkodzenia jednego z przekształtników.

Do efektów przeprowadzonych przez autora badań należy zaliczyć wytyczne dotyczące projektowania maszyn magnetoelektrycznych o zwiększonej odporności na uszkodzenia w układzie zasilania. Na podstawie zaprezentowanych badań autor wykazał, że do zapewnienia poprawnej pracy w warunkach awarii przekształtnika energoelektronicznego, a zatem zwiększenia niezawodności układu napędowego, celowe jest stosowanie maszyn wielofazowych i wielo-przekształtnikowego układu zasilania.

-----

- ad.[10]Piech Zbigniew, **Cezary Jędrzycka**, Szelaąg Wojciech, 2015, *Drive unit for multiphase permanent magnet synchronous motor*, zgłoszenie patentowe nr WO 2015105510 A1, data publikacji 16 Lip 2015.

Do efektów praktycznych prowadzonych przez autora badań nad skutecznymi modelami polowymi wielofazowych maszyn synchronicznych





o uzwojeniach skupionych należy zaliczyć udział autora wniosku w międzynarodowym zgłoszeniu patentowym dotyczącym wieloprzekształtnikowego układu zasilania maszyn 6 i 9 fazowych. Zgłoszenie to jest jednym z efektów wieloletniej współpracy z firmą Otis Elevator Company. Realizowane w ramach tej współpracy badania dotyczyły przeprowadzenia obliczeń projektowych i optymalizacyjnych sześciofazowej maszyny *SkyRise 78T* wdrożonej do produkcji w Stanach Zjednoczonych w 2016 roku. Maszyna ta jest obecnie największą maszyną wyciągową w ofercie rozwiązań dźwigowych firmy Otis.

-----

-----



## Podsumowanie

Prowadzone przez autora wniosku prace były ukierunkowane przede wszystkim na opracowanie strategii obliczeń projektowych obwodów magnetycznych maszyn synchronicznych o magnesach trwałych, w których wykorzystuje się modele polowe. Autor wniosku koncentrował się na poszukiwaniu takich ujęć, przy których możliwe będzie zredukowanie czasu obliczeń projektowych i optymalizacyjnych. Badania te dotyczyły dwóch typów maszyn synchronicznych, tj. silników o rozruchu bezpośrednim oraz maszyn magnetoelektrycznych o uzwojeniach skupionych. Wynikiem prac dotyczących silników o rozruchu bezpośrednim jest opracowana przez autora wniosku strategia projektowania, w której do oceny parametrów rozruchowych wykorzystywana jest wartość momentu asynchronicznego wyznaczana na podstawie modelu polowo-obwodowego. Natomiast do efektów prac dotyczących magnetoelektrycznych maszyn o uzwojeniach skupionych należy zaliczyć opracowanie autorskiej metody kodowania struktur uzwojeń pozwalającej na ich skuteczną syntezę, a także zaproponowanie strategii oceny parametrów funkcjonalnych rozpatrywanych maszyn w ujęciu polowym oraz opracowanie polowego algorytmu analizy maszyn magnetoelektrycznych pracujących w warunkach uszkodzenia jednego z przekształtników tworzących ich układ zasilania.

Do najistotniejszych osiągnięć autora wniosku związanych z badaniami nad wykorzystaniem modeli polowych w obliczeniach projektowych i optymalizacyjnych maszyn LSPMSM [1-6], należy zaliczyć:

- Opracowanie skutecznej metody oceny ich parametrów rozruchowych na podstawie wartości składowej asynchronicznej momentu synchronizującego.
- Opracowanie szeregu dyskretnych modeli numerycznych maszyn LSPMSM oraz specjalizowanych procedur skryptowych umożliwiających współpracę oprogramowania komercyjnego z niezależnym oprogramowaniem optymalizacyjnym.
- Zaproponowanie i wykazanie skuteczności strategii optymalizacji maszyn LSPMSM z uwzględnieniem parametrów charakteryzujących nieustalone stany pracy maszyny.
- Opracowanie modeli polowo-obwodowych nowych struktur silników o magnesach hybrydowych złożonych z silniejszych magnesów wytwarzanych metodą spiekania i słabszych dielektromagnesów.



Natomiast do najistotniejszych osiągnięć autora wniosku dotyczących badań nad opracowaniem skutecznych metod analizy i algorytmów projektowania magnetoelektrycznych maszyn o uzwojeniach skupionych [7-10] należy zaliczyć:

- Opracowanie skutecznej metody kodowania struktury połączeń uzwojeń bazującej na numeracji fazorów gwiazdy napięć układów  $n$ -fazowych.
- Opracowanie metody syntezy uzwojeń skupionych maszyn magnetoelektrycznych, w tym maszyn wielofazowych.
- Opracowanie autorskiego oprogramowania do analizy rozkładu przestrzennego żłobkowych sił magnetomotorycznych i syntezy uzwojeń skupionych maszyn o magnesach trwałych.
- Opracowanie szeregu dyskretnych modeli numerycznych maszyn testowych oraz specjalizowanych procedur skryptowych umożliwiających współpracę oprogramowania komercyjnego z oprogramowaniem własnym oraz wyznaczenie i analizę rozkładów przestrzennych sił lokalnych działających w obszarze szczeliny powietrznej.
- Wykazanie na podstawie przeprowadzonych badań zalet zaproponowanych magnetoelektrycznych maszyn wielofazowych.
- Opracowanie polowego algorytmu analizy maszyn magnetoelektrycznych pracujących w warunkach uszkodzenia jednego z przekształtników tworzących ich układ zasilania.
- Wykazanie większej odporności maszyn wielofazowych zasilanych wieloprzekształtnikowo na uszkodzenia w układzie zasilania.
- Wykorzystanie opracowanych metod i algorytmów do przeprowadzenia obliczeń projektowych maszyny wyciągowej SkyRise 78T oraz udział w pracach wdrożeniowych tej maszyny w ramach współpracy z firmą Otis Elevator Company.

Omówiony przez Kandydata cykl publikacji nie wyczerpuje w pełni złożonej i obszernej problematyki związanej z analizą, projektowaniem i syntezą maszyn magnetoelektrycznych z wykorzystaniem modeli polowych. W dalszych badaniach autor wniosku zamierza koncentrować się na opracowywaniu efektywnych metod projektowania maszyn liniowych o przełączalnym strumieniu magnetycznym oraz uwzględnieniu w opracowanych strategiach projektowania obwodów magnetycznych maszyn magnetoelektrycznych zjawisk mechanicznych i cieplnych.





## 5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo - badawczych

Do pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych niewchodzących w skład osiągnięcia wymienionego w pkt. 4b autor wniosku zalicza publikacje związane z realizacją prac badawczych dotyczących:

- 5.1. modelowania elektromechanicznych przetworników specjalnych w tym przetworników z cieczą magnetoreologiczną oraz przetworników z materiałami o magnetycznej pamięci kształtu,
- 5.2. modelowania i analizy rozptyłu prądów indukowanych w wielospójnych obszarach przewodzących,
- 5.3. energooszczędnych napędów elektrycznych do pomp i wentylatorów,
- 5.4. opracowania bezlinowego systemu windowego w ramach współpracy w firmą Otis Elevator Company.

-----  
ad. [5.1] ***Modelowanie elektromechanicznych przetworników specjalnych w tym przetworników z cieczą magnetoreologiczną oraz przetworników z materiałami o magnetycznej pamięci kształtu***

[1] **Cezary Jędrzycka**, Wojciech Szelaąg, Rafał Wojciechowski, 2013, *FE analysis of magnetorheological brake with hybrid excitation*, SELM 2013, 15-18 May 2013, Zawiercie, Poland, online: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6562984/>.

W artykule przedstawiono polowo-obwodowy numeryczny model sprzężonych zjawisk elektromagnetycznych, cieplnych oraz ferrohydrodynamicznych w magnetoreologicznym hamulcu o wzbudzeniu hybrydowym. W rozważaniach uwzględniono również dynamikę elementów ruchomych rozważanego przetwornika. Zaprezentowano algorytm uwzględniania wzajemnych sprzężeń pomiędzy analizowanymi zjawiskami. Opracowany model matematyczny zaimplementowano w autorskim oprogramowaniu do numerycznej analizy nieustalonych zjawisk sprzężonych w przetwornikach elektromagnetycznych z cieczą magnetoreologiczną. Oprogramowanie to wykorzystano do przeprowadzenia obliczeń projektowych hamulca modelowego. Na ich podstawie opracowano i zbudowano prototyp hamulca. Skuteczność i dokładność zaproponowanego modelu numerycznego oraz algorytmu jego rozwiązywania wykazano porównując wyniki badań symulacyjnych i eksperymentalnych hamulca modelowego.

- 
- [2] **Cezary Jędrzycka**, 2014, *Adjustable permanent magnet magnetorheological clutch for reducing surges during start up of asynchronous motors*, International Symposium on Electromagnetic Phenomena in Nonlinear Circuits EPNC 2014, July 2 - 4, 2014. Pilsen, Czech Republic,

W artykule autor zaproponował nowatorską koncepcję wzbudzanego magnesami trwałymi sprzęgła rozruchowo-przeciążeniowego z cieczą magnetoreologiczną. Na drodze eksperymentalnej i symulacyjnej wykazał, że zaproponowane sprzęgło skutecznie ogranicza narażenia mechaniczne i elektryczne występujące podczas rozruchu układów napędowych z silnikami indukcyjnymi. Na podstawie badań porównawczych, wykazał między innymi zdolność do dwukrotnej redukcji udarowego momentu rozruchowego i ponad pięciokrotnej redukcji czasu trwania udaru prądowego występującego podczas rozruchu testowego układu napędowego.

- 
- [3] **Cezary Jędrzycka**, Wojciech Szelaąg, Adam Myszkowski, Mariusz Barański, 2015, *Analiza i badanie magnetoreologicznego sprzęgła rozruchowo-przeciążeniowego*, Zeszyty Problemowe - Maszyny Elektryczne, Instytut Napędów i Maszyn Elektrycznych KOMEL, Nr 107, 3/2015, pp. 127-132.

W omawianym artykule przedstawiono kontynuację badań nad rozruchowo-przeciążeniowym sprzęgłem z cieczą magnetoreologiczną o wzbudzeniu magnesami trwałymi. W pracy przedstawiono model numeryczny rozważanego sprzęgła uwzględniający sprzężenia pomiędzy rozpatrywanymi zjawiskami elektromagnetycznymi, mechanicznymi, ferrohydrodynamicznymi i cieplnymi występującymi w rozważanym sprzęgle. Zaprezentowano algorytm rozwiązywania równań modelu z wykorzystaniem metody elementów skończonych.

Wyniki przeprowadzonych badań symulacyjnych i eksperymentalnych potwierdziły skuteczność zaproponowanego sprzęgła do ograniczania narażeń mechanicznych i elektrycznych występujących podczas rozruchu układów napędowych z silnikami indukcyjnymi.

- 
- [4] **Cezary Jędrzycka**, Wojciech Szelaąg, 2014, *Nastawialne sprzęgło rozruchowo-przeciążeniowe z cieczą magnetoreologiczną*, patent nr P-391467, Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej, Uznanie patentu - Warszawa, 09.01.2014 r.





- [5] **Cezary Jędryczka**, Wojciech Szelaąg, 2014, *Sposób regulacji momentu sprzęgającego w magnetoreologicznym sprzęgle wiskotycznym*, patent nr P-391466, Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej, Uznanie patentu - Warszawa 09.01.2014 r.

Efektym praktycznym prowadzonych badań nad magnetoreologicznym sprzęgłem rozruchowo-przeciążeniowym jest uznanie w 2014 r. dwóch patentów [4, 5] przez Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej.

- [6] Bartosz Minorowicz, **Cezary Jędryczka**, Frederik Stefański, Amadeusz Nowak, 2015, *Analysis and Modelling of Magnetic Circuits in Magnetic Shape Memory Alloy Actuators*, Progress in Automation, Robotics and Measuring Techniques, Vol. 350, pp. 137-145.

W pracy omówiono budowę oraz zasadę działania aktuatorów wykorzystujących stopy charakteryzujące się magnetyczną pamięcią kształtu (ang. *Magnetic Shape Memory Alloy*, MSMA). Opisano podstawowe właściwości mechaniczne i magnetyczne tych materiałów. W artykule skoncentrowano się na metodach analizy obwodu magnetycznego w aktuatorach z MSMA. Zaproponowano i przetestowano uproszczony model obwodowy, bazujący na schemacie zastępczym oraz opracowany przez autora model polowy, w którym posłużono się metodą elementów skończonych w ujęciu trójwymiarowym. Obliczone wartości indukcji w szczelinie przetwornika porównano z wynikami badań eksperymentalnych przeprowadzonych na zaprojektowanym i zbudowanym w ramach badań aktuatorze modelowym. Stwierdzono satysfakcjonującą dokładność obu opracowanych modeli.

ad. [5.2] ***Publikacje związane z modelowaniem i analizą rozptyłu prądów indukowanych w wielospójnych obszarach przewodzących***

- [1] Rafał M. Wojciechowski, **Cezary Jędryczka**, Wojciech Szelaąg, Andrzej Demenko, 2012, *Description of multiply connected regions with induced currents using  $T-T_0$  method*, Progress In Electromagnetics Research B, Vol. 43, pp. 279-294.

W artykule przedstawiono metodę odwzorowania wielospójnych obszarów przewodzących w przestrzeni elementów skończonych. Do wyznaczenia rozptyłu prądów indukowanych w obszarach wielospójnych zaproponowano nowatorską metodę połączonych potencjałów wektorowych  $T$  i  $T_0$ . Podano równania metody

$T-T_0$ . Zastosowano metodę sieci rezystancyjnej. Omówiono sposób formułowania równań metody dla oczek podstawowych i oczek dodatkowych wokół obszarów niespójności dla ściankowego modelu obszaru wielospójnego. Formułując równania dla oczek wokół obszarów niespójności posłużono się macierzami opisującymi rozmieszczenie oczek dodatkowych w przestrzeni krawędzi i ścianek elementów skończonych. Podano zależności opisujące wektory wymuszeń dla pola przepływowego prądu. Skuteczność metody  $T-T_0$  wykazano na przykładzie układu z przewodzącym obszarem wielospójnym i asymetrycznie usytuowanym otworem.

-----

- [2] Rafał M. Wojciechowski, **Cezary Jędrzycka**, 2015, *The analysis of stray losses in tape wound concentrated windings of the permanent magnet synchronous motor*, *Compel - The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering*, Vol. 34, No. 3, pp. 766-777.

W artykule przedstawiono przykład zastosowania modelu 2D do obliczania rozkładu prądów indukowanych i strat mocy w uzwojeniach wykonanych z przewodów profilowych. Model opracowano z myślą o obliczeniach optymalizacyjnych silników magnetoelektrycznych. Przy jego opracowaniu zastosowano metodę elementów krawędziowych i sformułowanie wykorzystujące potencjały: wektorowy  $A$  i skalarny  $V$ . W zaproponowanym modelu uwzględniono, że pętla dla prądów indukowanych obejmuje połączenia czołowe, przy czym połączenia te są traktowane jako elementy zero-wymiarowe. Rozpatrywano prądy indukowane zarówno przez strumień główny i strumień rozproszenia. Zmiany strumienia głównego są wywołane zmianą położenia wirnika, a zmiany strumienia rozproszenia - zmianami prądów w uzwojeniach. W modelu uwzględniono, że uzwojenie silnika zasilane jest ze źródła napięcia. W celu uzyskania satysfakcjonującej wiarygodności obliczeń zastosowano szczególnie gęstą siatkę dyskretyzującą w obszarze prętów profilowych.

Wykonano obliczenia optymalizacyjne silnika stosowanego w napędzie wind, a wyniki przedstawiono w omawianej pracy. Obliczenia realizowano z myślą o minimalizacji straty mocy powstających w uzwojeniach prętowych. Rozpatrzono sześć sposobów nawijania cewek uzwojeń prętowych. Zbadano wpływ rozwarcia żłobków stojana maszyny na wartość powstających strat mocy. Wytypowano 2 sposoby nawijania cewek uzwojeń, dla których uzyskano najmniejsze wartości straty mocy. Na podstawie przeprowadzonych badań wykazano, że na wartość strat mocy powstających w uzwojeniach profilowych





znaczący wpływ ma nie tylko sposób ułożenia prętów w żłobku maszyny, ale także rozwarcie żłobkowe stojana maszyny.

ad. [5.3] **Publikacje związane z energooszczędnymi napędami elektrycznymi do pomp i wentylatorów**

- [1] **Cezary Jędryczka**, Wiesław Łyskawiński, Dorota Stachowiak, 2013, *Analiza nasycenia strefy przyszczelinowej w silniku synchronicznym z magnesami ułożonymi w kształcie litery „V”*, *Pomiary Automatyka i Kontrola*, Vol. 59, nr 10, pp. 1089-1092.

W pracy przedstawiono opracowany model połowy silnika synchronicznego z magnesami w kształcie litery „V”. Wykonano obliczenia symulacyjne dla wariantów tej struktury silnika zmieniając wymiary wycięcia ograniczającego strumień rozproszenia magnesów (bariery magnetycznej) wpływającego na nasycenie strefy przyszczelinowej.

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że przy zmniejszaniu mostka magnetycznego pomiędzy magnesami, następuje wzrost siły elektromotorycznej i momentu elektromagnetycznego (największe wartości uzyskano w wariacie bez mostka magnetycznego) oraz maleje moment zaczepowy. Niestety, silne zmniejszanie mostka ferromagnetycznego powoduje wzrost pulsacji momentu elektromagnetycznego. Na podstawie analizy rozkładów pola magnetycznego i wyznaczonych parametrów funkcjonalnych wytypowano strukturę najlepiej ograniczającą skutki bocznikowania magnesów. Niewątpliwym osiągnięciem zrealizowanych badań jest optymalizacja bariery magnetycznej w celu zapewnienia najmniejszego strumienia rozproszenia magnesów w strefie przyszczelinowej, przy zachowaniu możliwie najlepszych parametrów funkcjonalnych rozpatrywanego silnika.

Stwierdzono również, że przy projektowaniu obwodu magnetycznego wirnika poza aspektami magnetycznymi konieczne jest uwzględnienie ograniczeń technologicznych i wymagań mechanicznych dla mostków ferromagnetycznych pomiędzy magnesami.

- 
- [2] Barański Mariusz, **Cezary Jędryczka**, Knypiński Łukasz, Stachowiak Dorota, Szeląg Wojciech, *Analiza wpływu niesymetrii obwodu magnetycznego wirnika na parametry rozruchowe 6- biegunowego silnika magnetoelektrycznego synchronicznego*, 2015, *Maszyny Elektryczne. Zeszyty Problemowe*, Instytut Napędów i Maszyn Elektrycznych KOMEL, Nr 4/2015 (108), pp. 43-48.



W artykule przedstawiono wyniki analizy wpływu niesymetrii obwodu magnetycznego wirnika na przebieg procesu rozruchu silnika synchronicznego magnetoelektrycznego. Rozpatrzono silnik 6-biegunowy o mocy 6,3 kW, przystosowany do rozruchu bezpośredniego i przeznaczony do napędu pompy wody. Projektując silnik przyjęto, że rdzeń pakietu stojana jest taki sam jak w seryjnie produkowanym 6-biegunowym trójfazowym silniku indukcyjnym klatkowym. Magnesy w obszarze podziałki biegunowej wirnika rozmieszczono w kształcie litery U. Celem pracy było zbadanie wpływu kształtu i niesymetrycznego rozmieszczenia prętów uzwojenia klatkowego na wybrane parametry rozruchowe silnika. W badaniach posłużono się połowo-obwodowym modelem symulacyjnym maszyny opracowanym w środowisku Maxwell i oprogramowaniem własnym. Przedstawiono wybrane rezultaty badań symulacyjnych oraz wynikające z nich wnioski. Uzyskane wyniki wykorzystano w procesie projektowania silnika prototypowego.

---

---

ad. [5.4] ***Publikacje związane z pracami badawczo-rozwojowymi dotyczącymi opracowania bezlinowego systemu windowego, realizowanymi w ramach współpracy w firmę Otis Elevator Company***

- [1] Zbigniew Piech, **Cezary Jędryczka**, Rafał Wojciechowski, Jacek Mikołajewicz, Pioptr Sujka, Wojciech Szelağ, Piotr Łukaszewicz, 2014, *Linear motor stator core for self-propelled elevator*, zgłoszenie patentowe WO 2014182272 A1, data publikacji 13.11.2014 r.
- [2] Zbigniew Piech, Adam Myszkowski, **Cezary Jędryczka**, Wojciech Szelağ, 2014, *Stator structure for self-propelled elevator*, zgłoszenie patentowe WO 2014182271 A1, data publikacji 13.11.2014 r.
- [3] Zbigniew Piech, **Cezary Jędryczka**, Rafał Wojciechowski, Jacek Mikołajewicz, Piotr Sujka, Wojciech Szelağ, Piotr Łukaszewicz, 2016, *Linear motor stator core for self-propelled elevator*, zgłoszenie patentowe US20160083226A1, data publikacji 24.03.2016 r.

Wymienione wyżej zgłoszenia patentowe [1-3] dotyczą zastrzeżenia zaproponowanej struktury stojana silnika liniowego przystosowanego do napędu bezlinowego systemu windowego i są efektem prac badawczo-rozwojowych realizowanych we współpracy z firmą Otis Elevator Company. Istota wynalazków polega na wykorzystaniu zjawiska lewitacji kabiny wyposażonej w układ





magnesów trwałych. Siła ciągu generowana jest poprzez oddziaływanie pola magnetycznego magnesów trwałych z polem magnetycznym wzniesionym przez przepływ prądu w uzwojeniach stojana rozmieszczonych wzdłuż szybu windy. Stojan maszyny ma konstrukcję modułową umożliwiającą budowanie dowolnie długich układów napędowych.

Udział autora wniosku polegał na tworzeniu i ocenie koncepcji struktur silników liniowych, opracowaniu modeli numerycznych oraz badaniach symulacyjnych rozważanych maszyn.

- 
- [4] Zbigniew Piech, Wojciech Szelaąg, Rafał Wojciechowski, **Cezary Jędrzycka**, 2014, *Wireless power supply for self-propelled elevator*, zgłoszenie patentowe WO 2014189492 A1, data publikacji, 27.11.2014 r.

Zgłoszenie patentowe [4] dotyczy zastrzeżenia zaproponowanej metody bezprzewodowego zasilania kabiny bezlinowego systemu windowego. Na podstawie przeprowadzonych badań zaproponowano dwie różne metody dostarczania energii do kabiny: a) metodę bazującą na wykorzystaniu podharmonicznego rozkładu przestrzennego siły magnetycznej wzniesionej przez uzwojenia stojana napędowego silnika liniowego oraz metody, w której do przesyłu energii wykorzystuje się częstotliwość nośną modulacji szerokości impulsu przebiegu napięcia zasilającego.

Udział autora wniosku polegał na tworzeniu i ocenie koncepcji systemów bezprzewodowego zasilania kabiny, opracowaniu modeli numerycznych oraz badaniach symulacyjnych rozważanych systemów przesyłu energii.

- 
- [5] Richard Fargo, Wojciech Szelaąg, **Cezary Jędrzycka**, Adam Myszkowski, Zbigniew Piech, 2014, *Halbach array assembly*, zgłoszenie patentowe WO2016126644A1, data publikacji 11.08.2016 r.

Zgłoszenie patentowe [5] jest efektem badań i obliczeń projektowych strony wtórnej silnika liniowego do napędu bezlinowego systemu windowego. Na podstawie przeprowadzonych badań zaproponowano strukturę obwodu magnetycznego oraz sposób jej montażu.

Udział autora wniosku polegał na tworzeniu i ocenie koncepcji struktury obwodu magnetycznego, opracowaniu modeli numerycznych i badaniach symulacyjnych



rozważanych struktur obwodu magnetycznego strony wtórnej zaproponowanego silnika.

- 
- [6] Zbigniew Piech, **Cezary Jędrzycka**, Wojciech Szelaǳ, 2016, *Six-phase motor for elevator system*, zgłoszenie patentowe WO2016109317A2, data publikacji 07.07.2016 r.

Omawiane zgłoszenie patentowe jest efektem badań i obliczeń projektowych nad wielofazowymi silnikami liniowymi o uzwojeniach skupionych. Na podstawie przeprowadzonych badań i obliczeń projektowych zaproponowano nowatorską konstrukcję silnika przystosowanego do zasilania z układu 6-fazowego złożonego z dwóch klasycznych 3-fazowych przemienników częstotliwości.

- 
- [7] Zbigniew Piech, Wojciech Szelaǳ, **Cezary Jędrzycka**, Adam Myszkowski, Enrico Manes, 2016, *Mounting assembly for elevator linear propulsion system*, zgłoszenie patentowe WO2016106140A1, data publikacji 30.06.2016 r.

Omawiane zgłoszenie patentowe jest kolejnym efektem badań i obliczeń projektowych bezrdzeniowych silników liniowych do napędu kabiny w bezlinowym systemie windowym. Dotyczy ono budowy pojedynczego modułu strony pierwotnej silnika.

- 
- [8] Randall Roberts, Zbigniew Piech, Adam Myszkowski, **Cezary Jędrzycka**, Wojciech Szelaǳ, Tadeusz Witczak, Enrico Manes, Richard Fargo, Bryan Siewert, 2016, *Configurable multicar elevator system*, zgłoszenie patentowe WO2016100609A1, data publikacji 23.06.2016 r.

Omawiane zgłoszenie patentowe dotyczy budowy i koncepcji bezlinowego systemu windowego, w którym w pojedynczym szybie windowym może znajdować się wiele kabin systemu. Istotą zaproponowanej koncepcji jest stworzenie systemu, w którym poszczególne kabiny "cyrkulują" w obiegu, tj. w danej chwili w wybranym szybie windowym wszystkie kabiny poruszają się w tym samym kierunku, np. w górę budynku. Kabina po dojechaniu do ostatniego przystanku jest przemieszczana w kierunku poziomym poprzez odpowiedni system transportowy do innego szybu, w którym ruch kabin odbywa się w dół. System transportowy odpowiedzialny za realizację tej funkcji nazwano stacją transferową. Przeanalizowano i zastrzeżono kilka różnych wariantów pracy





układu składającego się z trzech lub więcej szybów wyposażonych w dwie stacje transferowe znajdujące się na dolnych i górnych piętrach szybów windowych.

-----

- [9] Piech Zbigniew, Adam Myszkowski, **Cezary Jędryczka**, Wojciech Szelaąg, Arthur Blanc, Beata Wawrzyniak, Richard Fargo, 2016, *Mechanically integrated propulsion guiding unit*, zgłoszenie patentowe WO2016123440A1, data publikacji 04.08.2016 r.

Omawiane zgłoszenie patentowe jest kolejnym efektem prowadzonych badań nad bezlinowym systemem windowym. Dotyczy ono integracji strony wtórnej silnika bezrdzeniowego z układem prowadzenia kabiny w szybie windowym.

-----

- [10] **Cezary Jędryczka**, Adam Myszkowski, Tadeusz Witczak, Zbigniew Piech, Bruce Swaybill, Wojciech Szelaąg, Arthur Hsu, Enrico Manes, 2016, *Transfer station for a ropeless elevator system with redundancy of subcomponents and parking zone*, zgłoszenie patentowe WO2016109338A1, data publikacji 07.07.2016 r.

- [11] Tadeusz Witczak, Bryan Siewert, **Cezary Jędryczka**, Adam Myszkowski, Wojciech Szelaąg, Enrico Manes, Zbigniew Piech, 2016, *Transfer station and car disengagement mechanism for a ropeless elevator system*, zgłoszenie patentowe WO2016109511A1, data publikacji 07.07.2016 r.

Omawiane zgłoszenia patentowe [10, 11] dotyczą budowy i koncepcji układu przemieszczającego w kierunku poziomym kabiny pomiędzy szymbami bezlinowego systemu windowego. Poza podstawową funkcją transferu kabin pomiędzy szymbami zaproponowane rozwiązanie pozwala dodatkowo na dołączanie do systemu i wyłączenie z niego kabin, poprzez dodatkowy magazyn – tzw. parking.

-----



## 6. Podsumowanie

Dorobek naukowy autora wniosku po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych wniosku, obejmuje **62** artykuły. W czasopiśmie z listy *Journal Citation Report* zostało opublikowanych **11** artykułów, **19** prac opublikowano w czasopiśmie specjalistycznych z zakresu elektromagnetyzmu, metod numerycznych i maszyn elektrycznych nieposiadających współczynnika wpływu (*Impact Factor*), tj.: *Progress in Automation, Robotics and Measuring Techniques*, *Progress In Electromagnetics Research B* (PIER B), *Poznan University of Technology Academic Journals*, *Przeglądzie Elektrotechnicznym* czy *Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe*, Komel. Pozostałe publikacje zostały opublikowane w materiałach renomowanych konferencji międzynarodowych, tj.: *International Conference on the Computation of Electromagnetic Fields* (Compumag), *International Conference on Computation Electromagnetics* (CEM), *Symposium on Electromagnetic Phenomena in Nonlinear Circuits* (EPNC); *International Symposium on Electromagnetic Fields in Mechatronics, Electrical and Electronic Engineering* (ISEF) *International Symposium on Electrodynamics and Mechatronic System* (SELM), *Symposium Maszyn Elektrycznych* (SME); oraz w materiałach konferencji krajowych, tj.: *Wybrane Zagadnienia Elektrotechniki i Elektroniki* (WZEE), *Zastosowania Komputerów w Elektrotechnice* (ZKwE).

Baza **Web of Science** Core Collection (WoS) indeksuje **21** publikacji cytowanych **50** razy (w tym **39** bez autocytowań); **H-index** równy **4**. Ponadto baza zawiera **13** publikacji nieindeksowanych w bazie (w zakładce „*Cited Reference Search*”) cytowanych **14** razy. Sumarycznie wynikiem przeszukania bazy Web of Science Core Collection są **62 cytowania** (w tym **43** bez autocytowań) **24** prac autora wniosku.

Baza **Scopus** indeksuje **29** publikacje cytowane **77** razy (w tym **48** bez autocytowań); **H-index** równy **4**. Dodatkowo **6** publikacji nieindeksowanych w bazie Scopus (pobrane z pola *References* artykułów cytujących) jest cytowanych **8** razy. Sumarycznie wynikiem przeszukania bazy Scopus jest **85** cytowań (w tym **48** bez autocytowań) **35** prac autora wniosku.

Publikacje autora wniosku są cytowane również w rozprawach doktorskich:

- **Łukasz Knypiński**, 2016, *Optymalizacja silników o magnesach trwałych na podstawie polowo-obwodowego modelu zjawisk elektromagnetycznych*, Politechnika Poznańska, Poznań 2016 r.,
- **Marcin Antczak**, 2015, *Polowo-obwodowa analiza zjawisk elektromagnetycznych w silniku elektrycznym o biegunach wpisywanych*, Poznańska, Poznań 2015 r.



Sumaryczna liczba punktów Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego dla publikacji autora wniosku wynosi **706** (26.09.2017 r.)

Sumaryczny Impact Factor dla publikacji w czasopismach z listy JCR zgodnie z rokiem opublikowania wynosi **8.287**.

Aktywność autora wniosku w środowisku naukowym związana jest m.in. z aktywnym uczestnictwem w międzynarodowych konferencjach naukowych. Autor wniosku jest zapraszany do przygotowywania recenzji artykułów do czasopism indeksowanych w bazie JCR, tj.: *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, *IEEE Trans. on Magnetics*, *IET Journal of Engineering*, *COMPEL - The International Journal For Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering* oraz renomowanych czasopism spoza tej bazy, np.: *Archives of Electrical Engineering*, *Advances in Electrical Engineering*, *Academic Journals Poznan University of Technology*, *Electrical Engineering*, *Przegląd Elektrotechniczny*.

Autor wniosku uczestniczył aktywnie w realizacji wieloletniego bardzo dużego projektu „*Nowa generacja energooszczędnych napędów elektrycznych do pomp i wentylatorów dla górnictwa*” współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego, oraz projektu rozwojowego „*Proszkowe obwody magnetyczne w uniwersalnych napędach elektrycznych*” finansowanego z środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Autor kierował pracami badawczymi w ramach projektu pt. „*Polowa analiza stanów nieustalonych w elektromagnetycznych przetwornikach z cieczą magnetoreologiczną*” finansowanego z dotacji celowej na prowadzenie badań naukowych lub prac rozwojowych oraz zadań z nim związanych, służących rozwojowi młodych naukowców. Uczestniczył aktywnie w 11 projektach naukowo-badawczych realizowanych we współpracy z Otis Elevator Company, Clipper Windpower czy United Technologies Research Center, w tym czterech pełnił funkcję Kierownika. W ramach projektów *Provision of Intermediate Design for Optimized Propulsion Subcomponents of Ropeless Elevator*, *Provision of Electromagnetic Modeling and Analyses of Generator Structures under Development for Windmill* oraz *Executable program for adequately modelling SkyMotion performance* kandydat uczestniczył w seminariach i stażach naukowych organizowanych na zaproszenie działu badawczego firmy Otis w Farmington w USA.

Poza działalnością naukową autor wniosku prowadzi aktywnie działalność popularyzatorską i dydaktyczną. W latach 2008-2012 uczestniczył w wieloletnim projekcie „*Era Inżyniera. Rozbudowa potencjału rozwojowego Politechniki Poznańskiej*”, oraz projekcie „*Europejska Noc Naukowców*” w latach 2016 i 2017. Wielokrotnie uczestniczył również w akcjach promocyjnych Wydziału Elektrycznego Politechniki



Poznańskiej przygotowując między innymi pokazy lewitacji magnetycznej oraz cieczy sterowanych polem magnetycznym.

W swojej działalności dydaktycznej, poza przygotowywaniem i prowadzeniem wykładów i ćwiczeń oraz promowaniem prac inżynierskich i magisterskich z zakresu Informatyki technicznej, Komputerowych systemów obliczeń elektromagnetycznych, Informatyki, Maszyn elektrycznych, czy Metod komputerowych w elektrodynamice, autor wniosku bardzo aktywnie angażuje się w przygotowywanie i opracowywanie stanowisk laboratoryjnych z zakresu badań układów mechatronicznych i automatyki napędu elektrycznego. W tym celu od wielu lat autor współpracuje z wiodącymi firmami zajmującymi się przemysłowymi aplikacjami napędowymi, takimi jak B&R (obecnie ABB), Danfoss, Lenze. Autor jest również inicjatorem i organizatorem odbywających się cyklicznie seminariów, w ramach których pracownicy wyżej wymienionych firm dzielą się swoją wiedzą i doświadczeniem ze studentami, a także pracownikami Zakładu Mechatroniki i Maszyn Elektrycznych. Efektem tej działalności jest między innymi udział studentów Zakładu w praktykach i stażach, realizacja prac inżynierskich i magisterskich z wykorzystaniem najnowocześniejszych układów wykonawczych automatyki przemysłowej, jak również udział pracowników Zakładu w szkoleniach podnoszących kompetencje kadry naukowej z zakresu współczesnych rozwiązań w dziedzinie sterowania napędu elektrycznego.





<b>Zestawienie osiągnięć po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych:</b>			Razem
Opublikowane prace naukowe			62
Czasopisma	z listy JCR	11	
	zagraniczne	2	
	krajowe	17	
Materiały konferencyjne	międzynarodowe	27	
	krajowe	5	
Opracowania zbiorowe			21
Kierowanie lub udział w projektach badawczych	międzynarodowe	11	14
	krajowe	3	
Udział w konferencjach naukowych lub w komitetach organizacyjnych tych konferencji	międzynarodowe	11	15
	krajowe	4	
Zgłoszenia patentowe (międzynarodowe)			12
Zgłoszenia patentowe (krajowe)			2
Przyznane patenty krajowe			4
Uczestnictwo w programach europejskich, międzynarodowych i krajowych			2
Udział w konsorcjach i sieciach badawczych			1
Członkostwo w towarzystwach naukowych			2
Wykonane ekspertyzy lub inne opracowania na zamówienie			5
Recenzowanie artykułów dla czasopism	z listy JCR	10	18
	pozostałe	8	
Recenzowanie artykułów konferencyjnych	międzynarodowych	29	37
	krajowych	8	
<b>Zestawienie wskaźników bibliometrycznych:</b>			
Sumaryczny Impact Factor ( <i>IF</i> ) opublikowanych publikacji według listy JCR			8.287
Liczba cytowań publikacji według bazy WoS ( <i>bez autocytowań</i> )			64 (47)
Indeks Hirscha według bazy WoS			4

  
 .....  
 /Cezary Jędrzycka /