

Toruń, 13.06.2025 r.

dr hab. inż. Tomasz Tarczewski, prof. UMK
Instytut Nauk Technicznych
Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej
Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu
ul. Wileńska 7, 87-100 Toruń

POLITECHNIKA ŚLĄSKA
Biuro Rady Dyscypliny
Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika
i Technologie Kosmiczne
wpłynęło dnia 24.06.25
nr zał.

RECENZJA

*osiągnięć naukowo-badawczych, dydaktycznych, organizacyjnych i popularyzatorskich
dr. inż. Marcina Zygmanskowskiego ubiegającego się o uzyskanie stopnia doktora habilitowanego*

1. Podstawa prawna przygotowania recenzji

Recenzja została przygotowana na podstawie uchwały nr 77/2025 Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Śląskiej z dnia 18 marca 2025 r. w sprawie komisji habilitacyjnej w postępowaniu o nadanie stopnia doktora habilitowanego dr. inż. Marcinowi Zygmanskowskiemu oraz w oparciu o dostarczoną dokumentację, zawierającą w szczególności:

- wniosek przewodni,
- dane wnioskodawcy,
- kopię dyplomu doktora nauk technicznych,
- autoreferat w języku polskim zawierający opis dorobku i osiągnięć naukowych Habilitanta,
- wykaz osiągnięć naukowych albo artystycznych, stanowiących znaczny wkład w rozwój dyscypliny AEEiTK,
- kopie 10 powiązanych tematycznie artykułów naukowych zakwalifikowanych przez Habilitanta jako osiągnięcie naukowe nr 1 wraz z oświadczeniami współautorów potwierdzającymi ich wkład w powstanie publikacji,
- kopie 5 powiązanych tematycznie artykułów naukowych zakwalifikowanych przez Habilitanta jako osiągnięcie naukowe nr 2 wraz z oświadczeniami współautorów potwierdzającymi ich wkład w powstanie publikacji.

Wniosek habilitacyjny spełnia wymagania formalne. Habilitant posiada stopień doktora w dziedzinie nadany 2009 roku w dyscyplinie elektrotechnika, przedstawił osiągnięcia naukowe w postaci cyklu publikacji, posiada inne osiągnięcia naukowe, realizował prace badawcze w więcej niż jednej jednostce naukowej oraz posiada osiągnięcia dydaktyczne i organizacyjne.

2. Podstawowe informacje o Habilitancie

Dr inż. Marcin Zygmanski dyplom magistra inżyniera uzyskał w 2002 roku, kończąc studia na Wydziale Elektrycznym Politechniki Śląskiej na kierunku elektrotechnika. We wrześniu 2009 roku na tym samym wydziale obronił rozprawę doktorską pt. „Analiza porównawcza właściwości wybranych wielopoziomowych przekształtników energoelektronicznych przeznaczonych do układów kondycjonowania energii elektrycznej” uzyskując dyplom doktora nauk technicznych w zakresie elektrotechniki.

Od 2007 roku Habilitant jest zatrudniony w Katedrze Energoelektroniki, Napędu Elektrycznego i Robotyki na Wydziale Elektrycznym Politechniki Śląskiej, kolejno na stanowiskach asystenta i adiunkta.

Dr inż. Marcin Zygmantowski już jako doktorant koncentrował swoją działalność badawczą w obszarze związanym z energoelektroniką. Przedmiotem rozważań w rozprawie doktorskiej Habilitanta były zagadnienia dotyczące wielopoziomowych przekształtników energoelektronicznych przeznaczonych do układów kondycjonowania energii elektrycznej.

Po uzyskaniu stopnia doktora Habilitant realizował badania skoncentrowane na projektowaniu, sterowaniu i analizie właściwości wielopoziomowych przekształtników energoelektronicznych oraz systemów złożonych z kilku przekształtników. Badania dra inż. Marcina Zygmantowskiego koncentrowały się również wokół analizy strat mocy zarówno systemów wieloprzekształtnikowych, jak również pojedynczych przekształtników o różnych topologiach. Habilitant zajmował się opracowaniem modeli analitycznych strat mocy, weryfikacją za pomocą modeli symulacyjnych i finalnie weryfikacją eksperymentalną.

Badania Habilitanta realizowane były w ramach 9 projektów badawczych i badawczo-rozwojowych, z których 8 zrealizowano we współpracy z otoczeniem społeczno-gospodarczym lub w konsorcjach z innymi ośrodkami naukowymi.

3. Ocena osiągnięcia naukowego

Przedstawiony przez Habilitanta do oceny dorobek naukowy składa się dwóch osiągnięć naukowych. Osiągnięcie pierwsze, zatytułowane „*Projektowanie, sterowanie i analiza właściwości wielopoziomowych przekształtników energoelektronicznych i systemów wieloprzekształtnikowych*” obejmuje cykl 10 powiązanych tematycznie publikacji (A1 – A10) współautorskich:

- A1. Kąmpik Marian, Jarek Grzegorz, Jeleń Michał, Michałak Jarosław, Zygmantowski Marcin, Fice Marcin, Bidirectional converter system in dual active bridge topology for a hydrogen tank, *Electronics*, 2024, vol. 13, nr 1, str. 1-23.
- A2. Zygmantowski Marcin, Jarek Grzegorz, Michałak Jarosław, Design of the AC filter for two level converter operating in IT grids, 2022 IEEE 20th International Power Electronics and Motion Control Conference (PEMC), 2022, Brasov, Rumunia, str. 493–497.
- A3. Ornov Nursultan, Zygmantowski Marcin, Michałak Jarosław, Ruderman Alex, Natural balancing modulation strategy for a hybrid H-bridge five-level neutral point clamped converter with capacitor cells, *Proceedings of 10th International Conference on Power Electronics and ECCE Asia. ICPE 2019 - ECCE Asia*, 2019, Busan, Korea Południowa, str. 1178–1184.
- A4. Nalepa Radosław, Zygmantowski Marcin, Michałak Jarosław, Dual-Active-Bridge converter inductance DC-bias current compensation under low and high load conditions, *Przegląd Elektrotechniczny*, 2018, R. 94, nr 7, str. 1–5.
- A5. Michałak Jarosław, Zygmantowski Marcin, Hybrydowy asymetryczny przekształtnik wielopoziomowy – wybrane zagadnienia, *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Elektryka*, R. 60, nr 4, Gliwice 2014, str. 31–40.

- A6. Zygmanski Marcin, Grzesik Bogusław, Fulczyk Marek, Radosław Nalepa, Selected aspects of Modular Multilevel Converter operation, Bulletin of the Polish Academy of Sciences, Technical Sciences, 2014, vol. 62, nr 2, str. 375–385.
- A7. Zygmanski Marcin, Grzesik Bogusław, Nalepa Radosław, Capacitance and inductance selection of the modular multilevel converter, Proceedings of 15th European Conference on Power Electronics and Applications EPE 2013, Lille, Francja.
- A8. Zygmanski Marcin, Michalak Jarosław, Grzesik Bogusław, DC-link voltage balancing method for a hybrid asymmetric multilevel converter, Proceedings of 15th European Conference on Power Electronics and Applications EPE 2013, Lille, Francja.
- A9. Zygmanski Marcin, Grzesik Bogusław, Michalak Jarosław, Power conditioning system with cascaded H-bridge multilevel converter – DC-link voltage balancing method, Proceedings of the 14th European Conference on Power Electronics and Applications EPE 2011, Birmingham, Wielka Brytania.
- A10. Zygmanski Marcin, Grzesik Bogusław, Michalak Jarosław, Properties of the power conditioning system with a five-level cascaded converter and supercapacitor energy storage, Bulletin of the Polish Academy of Sciences, Technical Sciences, 2011, vol. 59, nr 4, str. 525–534.

Cykl powyższych artykułów został opublikowany w okresie 13 lat pracy badawczej Habilitanta. Publikacje A1, A4, A6, A10 zostały opublikowane w czasopismach z listy JCR, natomiast w roku opublikowania pracy A4 dla Przeglądu Elektrotechnicznego nie wyznaczono IF. Sumaryczny IF publikacji wynosi 4,48. Publikacje A2, A3, A7, A8, A9 opublikowano w materiałach konferencji międzynarodowych. W cyklu można wyróżnić obszary obejmujące prace badawcze nad różnymi topologiami przekształtników.

W artykule A1 Habilitant wraz z zespołem zaproponował przekształtnik o topologii DAB wyposażony w dwa przekształtniki mostkowe po stronie napięcia niskiego i dwa transformatory. Rozwiązanie to jest dedykowane do zastosowań w systemach magazynowania wodoru o mocy 10 kW. Główne wymagania dotyczyły pracy w szerokim zakresie zmian napięcia po obu stronach przekształtnika oraz minimalizacja strat mocy. Zaproponowano poprawę wydajności poprzez: modyfikację topologii przekształtnika po stronie niskiego napięcia umożliwiającą odłączenie jednego mostka H i transformatora, zastosowanie autorskiej metody sterowania tranzystorami przekształtnika bazującej na dopasowaniu przesunięcia fazowego. Zaproponowane rozwiązanie zapewnia znaczące ograniczenie strat mocy względem rozwiązania referencyjnego, szczególnie w zakresie niskich mocy. Habilitant jest autorem koncepcji badań, opracował również metodykę badań i model symulacyjny, wykonał analizę strat mocy i wyników badań eksperymentalnych. Zagadnienia związane z przekształtnikiem o topologii DAB były również przedmiotem badań Habilitanta przedstawionych w artykule A4. W pracy ukazano opracowane metody kompensacji składowej stałej prądu indukcyjności. Zaproponowano i zweryfikowano w badaniach symulacyjnych i eksperymentalnych algorytm regulacji wyposażony w regulatory typu PI oraz w sprzężenie w przód o stałym oraz o przestrajającym współczynniku wzmocnienia. Opracowane rozwiązanie skutecznie ogranicza składową stałą prądu w przekształtniku, zwłaszcza w stanach przejściowych. Wkład Habilitanta w powstanie pracy A4 jest istotny i obejmuje koncepcję badań, modernizację stanowiska badawczego, wykonanie badań eksperymentalnych oraz omówienie uzyskanych wyników. Omawiane badania zrealizowano we współpracy z dr. inż. Radosławem Nalepą z Politechniki Wrocławskiej.

Prace badawcze Habilitanta koncentrowały się również wokół modelowania i sterowania modularnego przekształtnika wielopoziomowego (*ang.* Modular Multilevel Converter – MMC). MMC jest przekształtnikiem przeznaczonym do pracy z wysokimi napięciami i mocami, w szczególności dla systemów HVDC. Jego topologia nie wymaga stosowania kondensatorów w obwodzie DC a modułowość umożliwia także stosowanie w układach średniego napięcia. W publikacji A6 Habilitant zaproponował uśredniony model trójfazowego modularnego przekształtnika wielopoziomowego w postaci równań stanu. Model ten został zastosowany do omówienia działania przekształtnika oraz do opracowania modeli symulacyjnych znacząco przyspieszających prowadzenie symulacji. Wykazano, że możliwe jest wielokrotne skrócenie czasu symulacji wykonywanych w środowisku Matlab/Simulink (14.6 razy szybciej) oraz GeckoCIRCUITS (21.6 razy szybciej) w porównaniu do symulacji bazujących na modelach dokładnych. Przeprowadzono badania ukazujące wpływ rezystancji oraz pojemności gałęzi na działanie MMC, ze szczególnym uwzględnieniem tętnień napięcia oraz prądu przepływającego między fazami. Opracowane modele pozwoliły także na wyznaczenie częstotliwości rezonansowych dla wybranych harmonicznych w funkcji pojemności i rezystancji gałęziowej. Tematyka rezonansów występujących w przekształtnikach MMC została szczegółowo omówiona w publikacji A7. Na podstawie wszechstronnych badań symulacyjnych bazujących na opracowanym modelu przekształtnika ukazano w formie graficznej miejsca występowania rezonansów w przekształtnikach MMC. Następnie autorzy zaproponowali procedurę doboru parametrów elementów pasywnych przekształtnika uwzględniającą tętnienia napięć na kondensatorach w modułach przekształtnika, przepływ prądów międzyfazowych oraz możliwość występowania rezonansu. Rozwiązania zaproponowane w omawianej pracy są bardzo wartościowe, o czym świadczy duże zainteresowanie zespołów badawczych z całego świata potwierdzone i liczba cytowań przekraczająca 190. Publikacja jest cytowana w artykułach opublikowanych w najbardziej prestiżowych czasopiśmie takich jak: *IEEE Transactions on Power Electronics*, *IEEE Transactions on Power Delivery*, *IEEE Transactions on Industry Applications*, *IEEE Access*. Przedstawione w pracach A6 i A7 badania zostały zrealizowane w ramach projektu zleconego przez ABB a Habilitant był ich wiodącym wykonawcą.

Wielopoziomowe przekształtniki kaskadowe (*ang.* Cascaded H-Bridge Converters – CHB) wymagają wyrównywania poziomów napięć. Zagadnienie to było przedmiotem badań Habilitanta przedstawionych w pracach A9 i A10. W pierwszej z nich ukazano metodę równoważenia napięć w CHB bazującą na generowaniu na wyjściu przekształtnika dodatkowych składowych napięć. Zaproponowane rozwiązanie nie wymaga dodatkowych obwodów mocy. Konieczne jest jedynie zagwarantowanie przepływu prądów fazowych. Wprowadzenie składowych napięć o częstotliwości podstawowej, razem z prądami strony AC, umożliwia wymianę mocy czynnej między przekształtnikami mostkowymi H i skutkuje równoważeniem napięć obwodu DC. W omawianym artykule wyróżniono dwa typy składowych napięć równoważących. Pierwsze składowe mogą równoważyć napięcia DC-link w każdej fazie kaskadowego przekształtnika mostkowego, a drugie składowe umożliwiają wymianę energii między fazami. Opracowana metoda została zweryfikowana eksperymentalnie na stanowisku z prototypowym układem kondycjonowania mocy z pięciopoziomym CHB i superkondensatorowym magazynem energii. W publikacji A10 Habilitant wraz z zespołem przedstawił analizę strat mocy komponentów pięciopoziomowego CHB oraz omówił zagadnienia dotyczące równoważenia napięć obwodu DC i sterowania układem magazynowania energii. Wykonane przez Habilitanta badania eksperymentalne ukazują poprawną pracę systemu podczas podłączania do sieci i ładowania magazynów energii (tj. kondensatorów i superkondensatorów) oraz w podczas zapadu napięcia

sieciowego. Potwierdzono również poprawne działanie zaproponowanej metody równoważenia napięć obwodu DC. Opracowany sposób równoważenia napięć w obwodach napięcia stałego wielopoziomowego przekształtnika kaskadowego uzyskał ochronę patentową w 2014 roku.

Prace badawcze Habilitanta dotyczyły również przekształtnika hybrydowego o topologii NPC+HB. Zaletą tej topologii jest możliwość wykorzystania do jej budowy typowych modułów przekształtnikowych, tj. gałęzi przekształtnika dwupoziomowego oraz gałęzi przekształtnika trójpoziomowego z diodami zwrotnymi. W pracy A8 przedstawiono metodę równoważenia napięcia obwodu DC w przekształtniku NPC+HB bazującą na modyfikacji sposobu załączania tranzystorów w przekształtniku mostkowym. Zamieszczone w pracy wyniki badań ukazują poprawne działanie przekształtnika oraz lepsze parametry, tj. niższe THD i mniejsza liczba przełączeń tranzystorów w porównaniu do rozwiązań referencyjnych. W następnym etapie prac badawczych Habilitant wraz z zespołem zastosował asymetryczny hybrydowy przekształtnik NPC+HB do zasilania silnika indukcyjnego klatkowego. Algorytm sterowania przekształtnikiem rozbudowano o metodę stabilizacji zapewniającą wyrównywanie napięcia kondensatorów przekształtników mostkowych oraz zaproponowano rozwiązanie, w którym nie ma konieczności stosowania dodatkowych źródeł napięcia stałego w obwodach pośredniczących przekształtników mostkowych. Rezultaty omawianych prac opublikowano w pracy A5. Wkład Habilitanta w powstanie tej pracy jest istotny i obejmuje opracowanie tezy badawczej i koncepcji badań, analizę stanu wiedzy oraz działania przekształtnika hybrydowego, a także budowę stanowiska badawczego i przeprowadzenie części eksperymentów. Uzupełnieniem prac dotyczących przekształtnika hybrydowego o topologii NPC+HB jest publikacja A3, w której przedstawiono strategię modulacji zapewniającą wyrównywanie napięć na kondensatorach przekształtników HB wykorzystującą generator stanów nadmiarowych zamiast pomiarów. Zaproponowane rozwiązanie jest uzupełnione analizą teoretyczną oraz wynikami badań symulacyjnych i eksperymentalnych.

Habilitant przeprowadził również badania dotyczące doboru parametrów filtra składowej wspólnej umożliwiającego tłumienie harmonicznych wynikających z przełączeń tranzystorów przekształtnika. Przedstawione w pracy A2 badania wykazały, że rdzenie nanokrystaliczne stosowane w dławikach przeznaczonych do filtrowania składowej wspólnej mają lepsze parametry niż parametry rdzeni ferrytowych. Rdzenie te następnie zostały wykorzystane do budowy filtra. Autorzy wskazali również, że problem nasycenia rdzeni dławików można rozwiązać stosując przekształtnik wielopoziomowy.

Osiągnięcie drugie, zatytułowane „*Analiza strat mocy w wielopoziomowych przekształtnikach energoelektronicznych i systemach wieloprzekształtnikowych*” obejmuje cykl 6 powiązanych tematycznie publikacji (B1 – B6), w tym jedną monoautorską i pięć współautorskich:

- B1. Zygmanski Marcin, Detailed power loss analysis of T-type neutral point clamped converter for reactive power compensation, Electronics, 2022, vol. 11, nr 14, str. 1–25.
- B2. Zygmanski Marcin, Kasprzak Marcin, Kierepka Kamil, Michalak Jarosław, Jarek Grzegorz, Przybyła Krzysztof, Power loss analysis of multi-converter system with single wire and wireless energy transfer, Proceedings of 35th International Conference on Electrical Drives & Power Electronics EDPE 2021, Dubrovnik, Chorwacja, str. 206–211.
- B3. Stefanik Jakub, Zygmanski Marcin, Power loss analysis of advanced-neutral-point-clamped converter with SiC MOSFETs and Si IGBTs, Proceedings of 19th International Conference on Power Electronics and Motion Control PEMC 2021, Gliwice, Poland, str. 161–166.

- B4. Zygmanski Marcin, Michalak Jarosław, Biskup Tomasz, Kołodziej Henryk, Power loss evaluation for medium voltage drive system based on back-to-back three-level NPC converter integrated with induction machine, Proceedings of 18th European Conference on Power Electronics and Applications EPE 2016 ECCE Europe, Karlsruhe, Niemcy.
- B5. Zygmanski Marcin, Michalak Jarosław, Biskup Tomasz, Kołodziej Henryk, Straty mocy w trójpoziomowym przekształtniku AC/DC/AC o napięciu 3,3 kV i mocy 1 MW, Przegląd Elektrotechniczny, 2016, vol. R. 92, nr 6, str. 63–70.
- B6. Zygmanski Marcin, Grzesik Bogusław, Fulczyk Marek, Nalepa Radosław, Analytical and numerical power loss analysis in modular multilevel converter, Proceedings of 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society IECON 2013, Wiedeń, Austria.

Cykl powyższych artykułów został opublikowany w okresie 9 lat pracy badawczej Habilitanta. Publikacje B1, B5 zostały opublikowane w czasopismach z listy JCR, natomiast w roku opublikowania pracy B5 Przegląd Elektrotechniczny nie był indeksowany na liście. IF dla publikacji B1 wynosi 2,9. Publikacje: B2, B3, B4, B6 opublikowano w materiałach konferencji międzynarodowych. Omawiane osiągnięcie naukowe dotyczy analizy strat mocy w przekształtnikach wielopoziomowych i systemach wieloprzekształtnikowych.

W publikacji B1 Habilitant przedstawił analizę strat mocy trójfazowego przekształtnika NPC typu T pracującego jako filtr aktywny. Wybór tej topologii podyktowany był relatywnie niskimi stratami mocy oraz faktem, że w tej topologii, podobnie jak w innych topologiach trójpoziomowych, dostępny jest punkt środkowy obwodu DC. W przypadku filtra aktywnego przewód neutralny jest podłączony do punktu środkowego i dodatkowa gałąź przekształtnika nie jest wymagana. Habilitant przedstawił szczegółową analizę strat mocy bazującą na charakterystykach podanych przez producenta modułu IGBT. Straty mocy zostały wyznaczone w funkcji wartości skutecznej prądu oraz temperatury. W analizie strat uwzględniono wszystkie elementy półprzewodnikowe rozważanego przekształtnika z podziałem na straty przewodzenia i przełączania. Habilitant wskazał, że podział ten jest istotny dla projektantów modułów mocy i przekształtników, ponieważ umożliwia wskazanie elementu o największych stratach mocy dla określonych warunków pracy. W analizowanym przekształtniku pracującym jako aktywny filtr mocy, Habilitant precyzyjnie określił elementy charakteryzujące się największymi stratami. Dobra korelacja między wynikami analitycznymi i zmierzonymi stratami mocy jest satysfakcjonująca – różnice mieszczą się w zakresie 5÷7%.

Prace Habilitanta dotyczyły także analizy strat mocy przekształtników wchodzących w skład systemu wieloprzekształtnikowego z łączem rezonansowym wysokiego napięcia. Przedstawiony w B2 system wieloprzekształtnikowy jest prototypem układu zasilania kolejki stosowanej w górnictwie podziemnym. Przedstawione w publikacji wyniki badań eksperymentalnych wykazały występowanie dodatkowych strat związanych z pasożytniczą rezystancją ścieżek obwodów drukowanych, zacisków oraz filtrów. Analiza ujawniła także niejednorodny rozkład strat przełączania i przewodzenia w poszczególnych przekształtnikach. Przedstawione wyniki mają duże znaczenie praktyczne, ponieważ pozwalają ocenić czy straty mocy generowane wewnątrz szczelnie zamkniętych obudów przeciwwybuchowych nie doprowadzą do przekroczenia maksymalnych temperatur poszczególnych komponentów przekształtnika.

W publikacji B3 przedstawiona została analiza strat mocy dla jednej gałęzi trójpoziomowego przekształtnika z diodami poziomującymi i tranzystorami IGBT oraz jego zmodyfikowanej wersji, w której diody poziomujące zostały zastąpione tranzystorami SiC-MOSFET. Eksperymentalnie

wykazano, że zmodyfikowany przekształtnik może pracować z częstotliwościami przełączania wyższymi niż 30 kHz. W przeciwieństwie do przekształtnika NPC, w ANPC wewnętrzne tranzystory są obciążone stratami przełączania a zastosowanie tranzystorów SiC-MOSFET skutkuje znacznym ograniczeniem strat mocy. Analiza ukazana w omawianej pracy wskazuje, że zmodyfikowany przekształtnik zapewnia większą gęstość mocy w porównaniu do rozwiązania referencyjnego. Na podstawie przeprowadzonej analizy strat mocy autorzy zdecydowali się przełączać tranzystory IGBT raz na okres podstawowej harmonicznej znacząco redukując całkowite straty mocy. Omawiane podejście pozwoliło na osiągnięcie sprawności powyżej 99% przy mocy wyjściowej na poziomie 10 kW.

Topologia trójpoziomowa z diodami zwrotnymi została zastosowana przez zespół Habilitanta w trójfazowym przekształtniku trójpoziomowym umożliwiającym oddawanie energii do sieci zasilającej i zintegrowanym z silnikiem asynchronicznym. Analityczna analiza strat mocy była istotna ze względu na przeznaczenie napędu do zastosowań w górnictwie. W pracy B4 porównano straty mocy wyznaczone analitycznie z wynikami badań symulacyjnych i eksperymentalnych. Badania wykonano dla przekształtnika silnikowego oraz sieciowego dla różnych temperatur czynnika chłodzącego oraz dla kilku wartości mocy maszyny roboczej. Straty mocy zostały wyznaczone także dla elementów pasywnych i uzwojeń silnika. Uzyskane wyniki charakteryzują się dobrą zbieżnością, która potwierdza poprawność zastosowanej analizy strat. W artykule B5 analizę strat uzupełniono o model cieplny jednej gałęzi przekształtnika oraz wyznaczone na jego podstawie temperatury złącz elementów półprzewodnikowych. Wyniki analizy zostały następnie wykorzystane w procesie doboru tranzystorów IGBT i diod. Habilitant jest autorem koncepcji badań przedstawionych w omawianej pracy. Wykonał również analizę teoretyczną strat moc elementów składowych przekształtników i opracował modele symulacyjne.

Habilitant przeprowadził bazującą na modelu uśrednionym analizę strat mocy w modularnym przekształtniku wielopoziomowym (*ang.* Modular Multilevel Converter – MMC). Wyznaczone zostały zależności opisujące straty przewodzenia i przełączania. Zależności wykorzystano następnie do analitycznego wyliczenia strat dla kilku wartości kąta fazowego i współczynnika głębokości modulacji. Uzyskane rezultaty porównano wynikami symulacji uzyskując dobrą zbieżność. Praca została zrealizowana we współpracy z ABB a Habilitant był autorem koncepcji badań, opracował model analityczny strat mocy oraz model symulacji rozważanego przekształtnika. Rozwiązania zaproponowane w omawianej pracy są bardzo wartościowe, o czym świadczy duże zainteresowanie zespołów badawczych z całego świata i liczba cytowań przekraczająca 60. Publikacja jest cytowana w artykułach opublikowanych w najbardziej prestiżowych czasopismach takich jak: *IEEE Transactions on Power Electronics*, *IEEE Industrial Electronics Magazine*, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, *Electric Power Systems Research*.

Zawartość merytoryczna i jakość publikacji przedstawionych przez Habilitanta do oceny osiągnięć jest dobra. Załączone oświadczenia współautorów publikacji potwierdzają, że wkład Habilitanta w opracowanie części merytorycznej każdej z prac jest istotny a w jednej jest jedynym autorem.

Podsumowując stwierdzam, że przedstawiony do oceny dorobek naukowy dr. inż. Marcina Zygmantowskiego wnosi znaczący wkład w rozwój dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne i spełnia ustawowe wymagania stawiane kandydatom do stopnia doktora habilitowanego nauk inżynierjno-technicznych.

4. Ocena całokształtu dorobku i istotnej aktywności naukowej Habilitanta

Cennym i znaczącym uzupełnieniem podstawowego osiągnięcia dr. inż. Marcina Zygmantowskiego jest jego pozostały dorobek naukowy obejmujący:

- 8 współautorskich publikacji w czasopismach z listy JCR,
- 4 współautorskie rozdziały w monografiach,
- 16 współautorskich publikacji w czasopismach,
- 14 referatów prezentowanych na znaczących międzynarodowych lub krajowych konferencjach tematycznych,
- 6 wykładów wygłoszonych na zaproszenie i wykładów plenarnych.

Prace te koncentrują się wokół zagadnień związanych z projektowaniem, analizą działania i strat oraz aplikacjami przekształtników energoelektronicznych.

Najważniejsze parametry bibliograficzne Habilitanta są następujące: sumaryczny *Impact Factor* artykułów opublikowanych w czasopismach JCR wynosi 19,896, liczba cytowań (bez autocytowań): 74 według *Web of Science*, 247 według *Scopus* oraz 388 według *Google Scholar*. Indeks *Hirscha* dr inż. Marcina Zygmantowskiego wynosi: 4 według *Web of Science*, 6 według *Scopus* oraz 8 według *Google Scholar*. Uzyskane parametry bibliograficzne świadczą o dobrej jakości prowadzonych prac i aktualności tematyki badawczej. Znajduje to także wyraz w nagrodach uzyskanych przez Habilitanta: wyróżnienie w VII Konkursie o Nagrodę ABB (edycja 2009/2010) dla pracy doktorskiej, Nagroda na XVII Międzynarodowych Targach Sprzętu Elektrycznego i Systemów Zabezpieczeń ELEKTROTECHNIKA 2019 za aktywny filtr harmonicznych, Medal I stopnia w konkursie Innowacyjne Rozwiązania w Budowie Maszyn i Urządzeń Górniczych w 2015 roku.

O aktywności naukowej dr inż. Marcina Zygmantowskiego świadczy również udział w pracach zespołu wspierającego przebieg konferencji IEEE-PEMC w 2021 roku oraz pełnienie funkcji recenzenta w wiodących czasopismach takich jak: *IEEE Transactions on Power Electronics*, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, *IET Power Electronics*, *Power Electronics and Drives*, *Archives of Electrical Engineering*, *Electronics*, *Energies* (razem ponad 100 recenzji). Habilitant przygotował również ponad 160 recenzji artykułów zgłoszonych na zagraniczne konferencje naukowe: EPE, ECCE, EPE-PEMC.

Habilitant uczestniczył w pracach 8 zespołów badawczych realizujących projekty finansowane w drodze konkursów krajowych lub zagranicznych i kierował 1 takim projektem. Tematyka projektów była zbieżna z działalnością badawczą dr. inż. Marcina Zygmantowskiego i dotyczyła m.in. opracowania i wdrożenia elementów systemu zasilania (np. aktywnych filtrów harmonicznych, przekształtników wielopoziomowych), rewitalizacji prosumerskich mikroinstalacji energoelektrycznych. Habilitant był również wykonawcą lub kierownikiem 11 prac naukowo-badawczych zrealizowanych na zlecenie firm oraz pracował w zespole naukowców z czterech europejskich uczelni w ramach projektu REMAKER.

Dr inż. Marcin Zygmantowski odbył staż w Cork Institute of Technology CIT w Cork w Irlandia w terminie 11 września 2001 – 10 czerwca 2002, podczas którego realizował badania dotyczące aktywnego filtra mocy z regulatorem histerezowym. Tematyka tych prac związana była z realizowaną wówczas pracą magisterską. W trakcie stażu Habilitant realizował również badania dotyczące filtra aktywnego dla zasilacza awaryjnego. Wyniki tych prac zostały przedstawione na

międzynarodowej konferencji EDPE w 2003 roku. W latach 2012 – 2013 dr inż. Marcin Zygmantowski odbył 9 zagranicznych staży, których łączny czas wyniósł 70. Cztery staże miały charakter dydaktyczny, trzy dydaktyczno-naukowy a dwa charakter naukowy. W trakcie kilkudniowego pobytu na Uniwersytecie w Rostocku Habilitant wygłosił cykl wykładów dotyczących przekształtników wielopoziomowych i zapoznał się z wynikami badań zespołu badawczego z Instytutu Elektroenergetyki. Podobny charakter miała kilkudniowa wizyta w Instytucie Napędów Elektrycznych, Energoelektroniki i Urządzeń na Uniwersytecie w Bremie w 2013 roku. Habilitant współpracował również z zespołem naukowym profesora Alexa Rudermana z Astany w Kazachstanie a wymiernym rezultatem tej współpracy jest publikacja A3 wykazana w cyklu i przedstawiona na konferencji ICPE 2019 – ECCE Asia. Od 2017 roku Habilitant współpracuje z zespołem dr inż. Radosława Nalepy z Politechniki Wrocławskiej. Dotychczasowym efektem współpracy są wspólne publikacje m.in. zawarta w cyklu praca A4.

Podsumowując stwierdzam, że dr inż. Marcin Zygmantowski prowadził istotne i aktualne badania naukowe i prace aplikacyjne w tematyce związanej z przekształtnikami energoelektronicznymi. Pozytywnie oceniam również współpracę Habilitanta z ośrodkiem krajowym, ośrodkami zagranicznymi i otoczeniem społeczno-gospodarczym.

Dr inż. Marcin Zygmantowski spełnia wymagania wykazywania się istotną aktywnością naukową w więcej niż jednej jednostce naukowej.

5. Ocena dorobku dydaktycznego, popularyzatorskiego i organizacyjnego

Aktywność Habilitanta przejawia się również w obszarach: dydaktycznym i organizacyjnym. Dr inż. Marcin Zygmantowski był promotorem 41 prac magisterskich i 45 projektów inżynierskich. W latach 2010 – 2024 Habilitant prowadził zajęcia (wykłady, ćwiczenia i laboratoria, seminaria, projekty) na 18 kursach w języku polskim i angielskim z zakresu: Energoelektroniki, Przekształtników energoelektronicznych, Projektowania układów mikroprocesorowych, elektroniki i technik mikroprocesorowych.

Działalność organizacyjna Habilitanta obejmuje opracowanie nowych stanowisk laboratoryjnych do badań urządzeń przekształtnikowych w ramach kursu przekształtniki energoelektroniczne w energetyce rozproszonej oraz szeroką współpracę z sektorem gospodarczym.

Habilitant od 2010 roku jest członkiem Stowarzyszenia Elektryków Polskich SEP oraz Polskiego Towarzystwa Elektrotechniki Teoretycznej i Stosowanej PTETiS.

Podsumowując stwierdzam, że przedstawiony dorobek dr. inż. Marcina Zygmantowskiego w zakresie działalności dydaktycznej i organizacyjnej jest wystarczający w odniesieniu do wymagań stawianych kandydatom do stopnia naukowego doktora habilitowanego.

6. Wniosek końcowy

Po zapoznaniu się z wyodrębnionym cyklem publikacji naukowych powiązanych tematycznie wchodzących w skład osiągnięcia naukowego pt.: „Projektowanie, sterowanie i analiza właściwości wielopoziomowych przekształtników energoelektronicznych i systemów wieloprzekształtnikowych” i osiągnięcia naukowego pt.: „Analiza strat mocy w wielopoziomowych przekształtnikach energoelektronicznych i systemach wieloprzekształtnikowych” jak również z

całością dorobku naukowego, dydaktycznego i organizacyjnego z uwzględnieniem współpracy krajowej i zagranicznej stwierdzam, że dr inż. Marcin Zygmanski spełnia wymagania stawiane kandydatom do stopnia doktora habilitowanego określone w art. 219 ust.1 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym z późniejszymi zmianami.

W mojej ocenie efekty dotychczasowej pracy naukowo-badawczej dr. inż. Marcina Zygmanskiego stanowią istotny wkład w rozwój dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne.

W związku z powyższym popieram wniosek o nadanie dr. inż. Marcinowi Zygmanskiemu stopnia doktora habilitowanego w dyscyplinie Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne.