



POLITECHNIKA
LUBELSKA



WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI
I INFORMATYKI

KATEDRA ELEKTROENERGETYKI

20-618 Lublin, ul. Nadbystrzycka 38A

tel.(+ 48 81) 53 84 360, fax (+48 81) 538 43 19

<http://weii.pollub.pl>

e-mail: we.ke@pollub.pl

Lublin, 13.11.2024 r.

dr hab. inż. Piotr Miller, prof. Uczelni

p.miller@pollub.pl



Recenzja rozprawy doktorskiej

mgra inż. Michała Piekarza

„Analiza interakcji w morskich systemach elektroenergetycznych”

Promotor pracy: dr hab. inż. Sylwester Robak, prof. uczelni

Podstawą opracowania niniejszej recenzji jest uchwała Rady Dyscypliny Naukowej Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Warszawskiej z dnia 15 października 2024 r. oraz pismo z informacją o powołaniu do pełnienia funkcji recenzenta podpisane przez Przewodniczącą Rady Dyscypliny Naukowej Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Warszawskiej prof. dr hab. inż. Tomasza Stareckiego z dnia 23 października 2024 r.

Recenzja opiera się o postanowienia §6.4 Rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 (Dz. U. z 30 stycznia 2018 r., poz. 261)

1 Wybór tematu rozprawy

Morska energetyka wiatrowa jest elementem strategicznego kierunku transformacji energetycznej, której głównym celem jest odejście od energetyki wykorzystującej paliwa kopalne w kierunku energetyki wykorzystującej źródła odnawialne. Według założeń Polityki Energetycznej Polski do 2040 r. (PEP 2040) moc zainstalowana w morskiej energetyce wiatrowej osiągnie w roku 2030 wartość 5,9 GW, natomiast w roku 2040 będzie to już 11 GW. Perspektywa nie jest zatem odległa w związku z czym, w przeciwieństwie do energetyki jądrowej, pytanie nie brzmi, „czy”, tylko „kiedy” pierwsze morskie farmy wiatrowe zaczną produkować energię elektryczną. A ma to nastąpić już w 2026 roku, kiedy ruszy Elektrownia Wiatrowa Baltica 3 o mocy zainstalowanej 1050 MW. Zostało zatem niewiele

czasu na badania i analizy związane z ewentualnym wpływem planowanych inwestycji na pracę i bezpieczeństwo Krajowego Systemu Elektroenergetycznego (KSE).

Analizując możliwość współpracy morskich systemów elektroenergetycznych z systemami lądowymi często skupiamy się na zagadnieniach technicznych (możliwość wyprowadzenia mocy z farm wiatrowych) oraz ekonomicznych. Rzadko natomiast spotyka się opracowania, które podejmują temat analizy interakcji występujących w morskich systemach elektroenergetycznych. Biorąc pod uwagę fakt, że współczesne systemy elektroenergetyczne wyposażane są w coraz większą liczbę elementów o zmiennych i regulowanych parametrach, coraz większą liczbę wielofunkcyjnych i wielopoziomowych układów regulacji, istnieje realne niebezpieczeństwo powstawania niekorzystnych interakcji, które mogą prowadzić do pogorszenia stabilności i niezawodności pracy KSE.

Recenzowana praca podejmuje temat analizy interakcji występujących w morskich systemach elektroenergetycznych, przy czym nie ogranicza się tylko do morskich farm wiatrowych. Wieloetapowa i wielowariantowa metodyka analizy interakcji, wypracowana w ramach rozprawy doktorskiej, obejmuje, oprócz morskich farm wiatrowych, także elektrownie morskie wykorzystujące energię fal i prądów morskich, elektrownie gazowe oraz dynamiczne odbiory i układy kompensacji. Bierze także pod uwagę rozbudowane układy przesyłowe, sieci morskie, które coraz częściej zastępują proste układy przesyłowe stosowane dotychczas.

Biorąc powyższe pod uwagę uznaję tematykę rozprawy za ważną, aktualną oraz wybraną prawidłowo, zarówno pod względem naukowym jak i praktycznym.

2 Ogólna ocena rozprawy

Opiniowana rozprawa zawiera 182 strony, przy czym część główna zawiera 136 stron tekstu wraz ze stroną tytułową, streszczeniami w języku polskim i angielskim, spisem treści, wykazem ważniejszych oznaczeń i symboli, wykazem literatury zawierającym 102 pozycje oraz spisem rysunków i tabel. Pozostałe strony to załączniki liczące w sumie 46 stron.

Część główna rozprawy podzielona została na siedem rozdziałów wliczając w nie zarówno rozdział wstępny, jak i podsumowujący całą rozprawę.

Przegląd literatury, obejmujący zagadnienia związane z energetyką odnawialną, głównie wiatrową, modelowaniem elementów systemu, analizą stabilności systemu elektroenergetycznego oraz metodyką badań interakcji został przeprowadzony w rozprawie rzetelnie, jest adekwatny i wystarczający. Najstarsza pozycja w wykazie literatury datowana jest na rok 1966, najnowsza pochodzi z roku 2024. Trzy pozycje w wykazie literatury powstały przy udziale Autora rozprawy.

Rozdział pierwszy jest krótkim wprowadzeniem w tematykę rozprawy. Autor, powołując się na wskazane pozycje literaturowe, uzasadnia konieczność i sens rozwoju energetyki morskiej. Zwraca także uwagę na fakt, że wprowadzenie dużej liczby nowych elementów do systemu

elektroenergetycznego, a tym samym dużej liczby układów regulacji, powoduje możliwość powstawania niekorzystnych interakcji, które w efekcie mogą prowadzić do pogorszenia stabilności i niezawodności pracy SEE. Celowy staje się więc rozwój metod detekcji i analizy interakcji, których celem jest poznanie przyczyn powstawania interakcji oraz opracowanie sposobów modyfikacji toru regulacyjnego w taki sposób, by wyeliminować niekorzystne interakcje.

W rozdziale drugim Autor wskazał czynniki motywujące go do podjęcia tematu rozprawy, nakreślił jej zakres oraz sformułował cele rozprawy i jej tezę, która brzmi następująco: *„Możliwe jest opracowanie wieloetapowej metodyki badań interakcji w morskich systemach elektroenergetycznych, która wykorzystuje liniowe metody analiz interakcji, pozwala na wszechstronne badanie interakcji, umożliwia dobór sygnałów wejściowych układów regulacji oraz strojenie parametrów regulatorów pod kątem poprawy stabilności systemu elektroenergetycznego.”* Sposób sformułowania tezy uważam za prawidłowy.

Rozdział trzeci to charakterystyka morskich systemów elektroenergetycznych. Wprowadzeniem do tego rozdziału jest omówienie wszystkich aktów prawnych, zarówno unijnych jak i krajowych, poczynając od Porozumienia Paryskiego w 2015 na dokumencie Polityka Energetyczna Polski do 2040 roku (PEP2040) skończywszy. Są to dokumenty, które zdecydowały o konieczności i nakreśliły ramy rozwoju morskich farm wiatrowych w Polsce. Rozdział potraktowano nieco szerzej, gdyż obok omówienia perspektyw rozwoju morskich farm wiatrowych w Polsce (także w Europie), Autor rozprawy poruszył także zagadnienia związane rozwojem elektrowni morskich wykorzystujących energię pływów i fal morskich, elektrowni gazowych wykorzystywanych do zasilania np. platform wiertniczych na morzu, a także zagadnienia związane z odbiorcami energii elektrycznej na morzu oraz rozwojem sieci morskich, których struktura staje się coraz bardziej rozbudowana wraz z rozwojem infrastruktury wytwórczej i odbiorczej na morzu. Stąd tytuł rozdziału: „Morskie systemy elektroenergetyczne”, który uzasadnia to szersze potraktowanie tematu.

Rozdział czwarty jest wprowadzeniem do tematu rozprawy doktorskiej, czyli omawia zagadnienia związane z interakcjami występującymi w systemie elektroenergetycznym. Krótka charakterystyka tych interakcji została zaprezentowana na podstawie przeglądu literatury po czym Autor wprowadził ogólny model dynamiczny systemu elektroenergetycznego. Stanowi to podstawę do zaprezentowania klasyfikacji liniowych i nieliniowych metod analiz interakcji ich ogólnych charakterystyk oraz przydatności (obok analiz interakcji) do wykonywania różnego rodzaju analiz pracy systemu elektroenergetycznego, doboru parametrów regulatorów oraz ich lokalizacji.

W rozdziale piątym Autor zaprezentował model testowy morskiego systemu elektroenergetycznego. Zgodnie z założeniem Autora model ma mieć charakter uniwersalny, nie należy go zatem utożsamiać z żadnym konkretnym rozwiązaniem. Uniwersalność modelu wymusiła jednak

jego rozbudowę o dodatkowe elementy. Tak więc oprócz farm wiatrowych morskich w modelu znalazło się także miejsce na farmę wykorzystującą energię prądów morskich, turbinę gazową oraz odbiory zarówno statyczne, jak i dynamiczne. Prezentacja modelu testowego nie ograniczyła się tylko do zamieszczenia jego schematu. W rozdziale można znaleźć pełną charakterystykę systemu testowego z dokładnym omówieniem modeli matematycznych wszystkich elementów składowych tego systemu, na które składają się schematy zastępcze, równania matematyczne modelujące elementy składowe oraz zestawienie sygnałów poszczególnych elementów systemu. Autor omówił także zastosowaną przez niego metodę weryfikacji poprawności modelu, której algorytm prezentuje rys. 5.2.

Prawdopodobnie najbardziej czasochłonną i pracochłonną częścią pracy nad doktoratem było opracowanie wyników badań interakcji morskiego systemu elektroenergetycznego, które stanowi treść rozdziału szóstego oraz załączników. Zaproponowana przez Autora rozprawy metodyka badań składała się z trzech etapów: Etap 1, który obejmował przygotowanie modelu testowego i przeprowadzenie wstępnych badań (analiza wartości własnych układu); Etap 2, który obejmował analizę współczynników udziału poszczególnych elementów systemu testowego w wartościach własnych układu, analizę transmitancji $G(s)$ oraz właściwą analizę interakcji z wykorzystaniem metod RGA, DRGA oraz GDRG; Etap 3, który obejmował optymalizację parametrów regulatorów i dostrojenie pętli regulacyjnych. Badania przeprowadzono dla trzech wariantów konfiguracji morskiego systemu elektroenergetycznego, przy czym w głównej części pracy zamieszczono wyniki badań i analiz dla wariantu I, natomiast wyniki dla wariantów II oraz III zostały umieszczone w załącznikach. Podsumowania i dyskusje wyników zamieszczone w głównej części pracy dotyczą wszystkich wariantów.

Rozdział siódmy zawiera podsumowania, wnioski, wykaz istotnych osiągnięć rozprawy oraz pomysły Autora rozprawy na dalsze badania. Ciekawym zabiegiem Autora rozprawy jest podział wniosków na 4 kategorie: w zakresie morskich systemów elektroenergetycznych, w zakresie metod analizy interakcji, w zakresie modelowania morskiego systemu elektroenergetycznego oraz w zakresie zaproponowanej metodyki badań interakcji. Wnioski są obszerne, rzeczowe i stanowią bardzo dobre podsumowanie rozprawy doktorskiej.

Integralną częścią pracy są załączniki, w których zamieszczono parametry systemu testowego oraz wyniki badań dla wariantów II i III konfiguracji sieci testowej.

Strukturę rozprawy oraz jej zawartość oceniam pozytywnie. Podkreślić należy duży wkład pracy Autora w przygotowanie tekstu bardzo rozbudowanego o wyrażenia matematyczne oraz ogromny wkład pracy w przygotowanie i opracowanie wyników badań zamieszczonych zarówno w głównej części rozprawy jak i w załącznikach.

3 Uwagi redakcyjne szczegółowe

Autor rozprawy nie ustrzegł się niestety błędów redakcyjnych. Poniżej kilka przykładów:

Nr strony	Lokalizacja	Uwagi
15	Akapit 2 od góry	„...rozwiązania technologiczne umożliwiające wykorzystanie energie z fal lub prądów morskich [2].” – powinno być „ energii ”.
17	Akapit 2 od góry	„Dostępne oprogramowanie pozwalają na analizy rozplywów mocy...” – jeżeli „ oprogramowanie ” to „ pozwala ”.
17	Akapit 1 od dołu	„ Główna część pracy stanowi rozdział 6, w którym...” – powinno być „ Główną ”.
18	Akapit 4 od dołu	„1. dokonania krytycznej analizy istniejących rozwiązań w zakresie morskich systemów elektroenergetycznych;” – powinno być „ rozwiązań ”.
18	Akapit 3 od dołu	„2. dokonania krytycznej analizy istniejących metoda analizy interakcji występujących w układach dynamicznych;” – powinno być „ metod ”.
21	Akapit 1 od dołu	„...najistotniejszy jest cel nr 6 tego dokumentu, który mówi o wdrożeniu morskiej energetyki wiatrowej.” – powinno być „ wdrożeniu ”.
22	Akapit 1 od dołu	„W Polityce Energetycznej Polski do 2040 roku przestawiono plany, w której zakłada się...” – powinno być „ przedstawiono ”.
33	Akapit 3 od góry	„Dla linii prądu przemiennego stosuje się w takich wypadkach pojęcie długości granicznej [53].” – powinno być „ stosuje się ”.
35	Akapit 1 od góry	System elektroenergetyczny ze względu na swoją złożoność, traktować możne jako układ...” – powinno być „ można ”.
38	Objaśnienie do wzoru (4.8)	„gdzie: λ oznacza wartość własna macierzy stanu A ...” – powinno być „ własną ”.
42	Akapit nad 4.3.5.	„ powyższe właściwości prowadzą do reguły doboru par sygnałów:” – zdanie z dużej litery.
45	Akapit 1 od góry	„Residuum związane z dana wartością własną...” – powinno być „ daną ”.
47	Akapit 1 w 4.3.10	„Metody zaawansowane analizy interakcji można podzieli na dwie kategorie [9]: - powinno być „ podzielić ”.
49	Akapit 2 od góry	„...farma wykorzystują energię prądów morskich ...” – powinno być „ wykorzystująca ”.
52	Akapit 1 od góry	„Ostatnim etapem weryfikacji było analiza wartości własnych ...” – powinno być „ była ”.
69	Akapit 1 od góry	„W ramach czynności wstępnych należy określić różne konfiguracje systemu testowego pokazanego na Rys. 5.1 (Wariant I, Wariant II oraz Wariant III) ...” – na rysunku 5.1 nie ma żadnych informacji o wariantach. Lepszym rozwiązaniem byłoby tutaj zdanie stwierdzające, że w ramach pracy zaproponowano 3 różne warianty, które zostaną scharakteryzowane w dalszej części rozdziału, a konkretnie w 6.2.
72	Akapit 1 w 6.2	„...a sam proces modelowania poszczególnych elementach został szczegółowo opisany...” – powinno być „ elementów ”.
75	Akapit 1 od góry	„W Tabeli 6.1 zostały przedstawione wyniki dla zakresu częstotliwości związany z...” – powinno być „zakresu związanego ” lub „częstotliwości związanych ”.
78	Akapit 1 w 6.4.	„zmiany kompensacji w węzle stacji morskiej110 kV.” – zabrakło spacji przed 110.

Nr strony	Lokalizacja	Uwagi
91	Akapit 1 w 6.5	„W badaniu systemu testowego, przy użyciu metody RGA, uzyskuję się macierz z równania...” – powinno być „ uzyskuje ”.
94	Akapit pod rys. 6.21	„W tym celu wykorzystano metodę filtracji, który łączy w sobie zarówno filtry o skończonej...” – powinno być „ która ”.
105	Akapit 2 od góry	„W przypadku częstotliwości odpowiadającym ...” – powinno być „ odpowiadających ”.
107	Akapit nad 6.8.2	„...jest takie dostrojenie parametrów regulatora tak , aby współczynnika tłumienia wynosił 0,05.” – „ tak ” jest zbędne i powinno być „ współczynnik ”.
107	Akapit pod 6.8.2	„...wyniki zostały porównane z modelem bazowym (takiego bez dodatkowych pętli regulacyjnych).” – jeżeli już, to „takim”.
113	Akapit pod tabelą 6.24	„Strojenie parametrów stabilizatorów systemowych wykazały , że jest możliwość ograniczenia niekorzystnych interakcji w morskim systemie elektroenergetycznym i poprawić stabilność analizowanego systemu testowego” – powinno być „ wykazało ” oraz „ poprawienia stabilności ”.
114	Akapit 3 od dołu	„Jednocześnie przegląd rozwiązań na świecie wskazują na różnorodność technologii urządzeń wytwórczych...” – powinno być „ wskazuje ”.
115	Akapit 2 od góry	„Linearyzacja umożliwia zastosowanie metod analizy interakcji o różnych właściwości i złożoności obliczeniowej.” – powinno być „ właściwościach ”.

Liczb błędów redakcyjnych jest akceptowalna, tym bardziej, że nie są to jakieś rażące błędy.

4 Uwagi redakcyjne o charakterze ogólnym

- Pamiętam, że podczas pisania prac naukowych zwracano mi uwagę na tzw. „sieroty”, czyli pojedyncze spójniki, które nie powinny pozostawać na końcu wiersza. Zawsze jest z tym sporo pracy, by się ich pozbyć. Autor niestety nie zadbał o to.
- Wszystkie odwołania do rysunków oraz tabel w tekście, niezależnie czy znajdują się na początku, w środku, na końcu zdania czy też wtrącone w nawiasach mają postać: **Rys. 1.1., Tabela 1.1.** Można było zadbać o to, by w środku zdania miało to jednak postać: **rys. 1.1., tabela 1.1.**
- Znalazłem kilka błędów związanych z wyborem właściwej formy wyrazów, kilka z nich pojawiło się w tabeli w punkcie 3 recenzji. Oprócz tych błędów można wskazać także błędy dotyczące zgodności liczb: pojedynczej i mnogiej. Przykład ze str. 35, akapit 2 od góry: „Regulator **jednego urządzenia** może mieć niekorzystny wpływ na **inny regulator, znajdujące się ...**” – zdanie wyraźnie odnosi się do pojedynczych regulatorów właściwą formą byłoby więc „**znajdujący się**”. Częstym problemem jest także zasada, która reguluje stosowanie określeń „ilość” i „liczba”. Jeżeli mamy do czynienia z rzeczownikiem niepoliczalnym, to korzystamy z ilości, jeżeli z policzalnym, to z liczby. Przykład ze str. 35, akapit 4 od góry: Z powodu integracji znacznej **ilości turbin wiatrowych** o zmiennej prędkości obrotowej...” – turbiny wiatrowe można policzyć, więc właściwą formą będzie „**liczba turbin wiatrowych**”.
- Autor nie zadbał o komfort czytelnika w zakresie spójności pracy. Poszczególne rozdziały, podrozdziały są urywane, brakuje akapitów kończących i wprowadzających do zagadnień omawianych w kolejnym rozdziale. Szczególnie widać to w rozdziale 4, gdzie cały rozdział

kończy się podrozdziałem 4.3.10 zawierającym wyliczenie zaawansowanych metod analizy interakcji.

•

Pomimo powyższych uwag stwierdzam, że Autor potrafi redagować teksty techniczne i odbiór całości rozprawy jest pod względem redakcyjnym jak najbardziej pozytywny.

5 Uwagi o charakterze ogólnym i dyskusyjnym:

- Rozdział 3.2.1. rozpoczyna się od zdania, z którego wynika, że potencjał morskiej energetyki wiatrowej na Bałtyku szacowany jest na poziomie 83 GW. Tutaj nie wskazano źródła, z którego zaczerpnięto te szacunki. Źródło pojawia się dalej (str. 24, akapit drugi od góry), z którego wynika, że potencjał ten wynosi jednak 85 GW (źródło [26]). Różnica procentowo nie jest duża, tym niemniej można było zrezygnować z podawania informacji, która wcześniej już się pojawiła, ewentualnie wskazać źródło tam, gdzie pojawiła się po raz pierwszy.
- W opisie wyrażenia (4.1) na str. 36 możemy przeczytać, że n oznacza rząd układu, natomiast r , to liczba wejść. O ile n faktycznie występuje we wzorze (4.1), o tyle r nigdzie tam nie występuje. Można się domyślać, że skoro jest to liczba wejść, to może dotyczyć wymuszeń. Niestety nie potwierdza to wyrażenie (4.3), gdzie wymuszenia są także indeksowane od 1 do n . Natomiast w objaśnieniach do wzoru (4.7) faktycznie r pojawia się jako wymiar wektora sygnałów wejściowych. Poproszę o wyjaśnienie.
- W ostatnim akapicie podrozdziału 4.3.2, zawierającego charakterystykę analizy interakcji metodą wrażliwości, str. 39, jest mowa o „zestawieniu modułów współczynników udziału dla każdej wartości własnej, z których można było wykonać wykresy słupkowe”. Gdzie jest to zestawienie i gdzie można obejrzeć te wykresy słupkowe? Brakuje stosownego odwołania.
- Opis wariantów konfiguracji systemu testowego ilustrowany przy pomocy rysunków 6.3, 6.4 oraz 6.5 nie jest jasny. Podpisy pod rysunkami sugerują, że jest to prezentacja konfiguracji systemu testowego w konkretnym wariacie. Czyli wariant I uwzględnia tylko podsystem 3 z elektrownią gazową i odbiorem dynamicznym. Wariant II to konfiguracja rozbudowana o podsystem 2 z morską farmą wiatrową i farmę wykorzystującą energię fal morskich. Wariant III to pełna konfiguracja, tożsama z konfiguracją bazową z rysunku 5.1. Opisy w tekście sugerowałyby z kolei, że rysunki wskazują tylko to, co zmieniało się w stosunku do konfiguracji bazowej. Opis nad rys. 6.3 mówi o zmianach długości linii L1 i L33 oraz obciążeniach dynamicznych i kompensacji w węźle B2. Rozumiem, że są to zmiany w stosunku do konfiguracji bazowej. Ale nie wiem, czy badana jest pełna konfiguracja systemu z rys. 5.1

zmieniona w zakresie ilustrowanym na rys. 6.3, czy rys. 6.3 to faktyczna konfiguracja systemu testowego w wariantcie I. Proszę o wyjaśnienie.

- Zakładając, że poszczególne warianty są jednak budowane jako rozszerzenie wariantu najprostszego (wariant I) o kolejne elementy zastanawia kolejność rozbudowy. W rozprawie zaprezentowano dokładne wyniki analiz dla wariantu I, który dotyczy elektrowni gazowej i odbioru dynamicznego. Wyniki pozostałych wariantów znalazły się w załącznikach, chociaż należy zaznaczyć, że ich omówienie zostało zamieszczone w głównej części pracy. Biorąc pod uwagę fakt, że w Polsce planowany jest raczej rozwój morskich farm wiatrowych, a nie innych elementów wchodzących w skład morskich systemów elektroenergetycznych, być może bardziej trafnym wyborem byłby taki układ, w którym w wariantcie I znalazłyby się morskie farmy wiatrowe, a dopiero w kolejnych wariantach system zostałby rozbudowany o elektrownie wykorzystujące energię prądów morskich, czy elektrownie gazowe, które raczej nie są planowane w KSE. Proszę o komentarz.

Powyższe uwagi traktuję jako dyskusyjne i pozostające bez wpływu na moją, pozytywną ocenę rozprawy.

6 Uwagi końcowe, podsumowanie, spełnienie wymogów ustawowych

Ustawa o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. z dnia 21.06.2016 r., poz.882) wymaga, aby rozprawa doktorska stanowiła oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Opiniowana rozprawa według mnie spełnia to wymaganie. Zgodnie z wymogami Ustawy Doktorant, mgr inż. Michał Piekarz, wykazał się wiedzą, umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej oraz umiejętnością prowadzenia badań i przedstawienia ich wyników.

Lista istotnych osiągnięć rozprawy, które powinny być uznane za oryginalny dorobek Doktoranta zawiera następujące, najistotniejsze elementy:

- przegląd i klasyfikacja metod analizy interakcji w dynamicznych układach liniowych i nieliniowych,
- opracowanie nieliniowego i zlinearyzowanego modelu matematycznego morskiego systemu elektroenergetycznego uwzględniającego różne technologie źródeł wytwórczych oraz statycznych i dynamicznych odbiorów,
- implementacja liniowych metod analizy interakcji (RGA, DRGA, GDRG) i przeprowadzenie analiz interakcji dla opracowanego modelu morskiego systemu elektroenergetycznego,

- modyfikacja metody DRGA polegająca na wprowadzeniu dodatkowej filtracji,
- opracowanie wieloetapowej metodyki analizy interakcji w morskim systemie elektroenergetycznym ukierunkowanej na identyfikację niekorzystnych zjawisk zagrażających bezpieczeństwu systemu elektroenergetycznego, przy czym metodyka jest na tyle uniwersalna, że można ją zastosować także dla systemów lądowych,
- wykorzystanie wyników badań i opracowanej metodyki do doboru parametrów sterujących regulatorów (stabilizatorów systemowych).

Doktorant w rozprawie zmierza konsekwentnie do realizacji celu pracy. Pomimo drobnych mankamentów wykład jest jasny i czytelny, zawiera także wszystkie istotne elementy: genezę, cel pracy, krytyczny przegląd aktualnego stanu wiedzy, sformułowanie problemu, jego rozwiązanie, prezentację wyników, podsumowanie ze wskazaniem wkładu własnego w rozwój dyscypliny naukowej oraz plany dalszych prac.

Biorąc pod uwagę przedstawioną powyżej ocenę stwierdzam, że opiniowana rozprawa doktorska Pana mgr inż. Michała Piekarza stanowi cenny wkład w rozwój dyscypliny naukowej elektrotechnika (automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne według nowej klasyfikacji) oraz spełnia warunki i wymagania ustawowe stawiane rozprawom doktorskim, określone w art. 13 ust. 1 Ustawy z dnia 21.06.2016 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. z dnia 21.06.2016 r., poz.882) i wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.