

PRZEWODNICZĄCY RADY DISCYPLINY  
Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika  
i Technologia Kosmiczne

*Mileny*  
prof. dr hab. inż. Wojciech Szelaąg

Opole, 16.08.2023 r.

Prof. dr hab. inż. Marian ŁUKANISZYN  
Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki  
Politechnika Opolska

## Recenzja rozprawy doktorskiej

Mgr inż. Mileny A. KURZAWY

pt. "*Obwodowo - polowa analiza i synteza układów uzwojeń w systemach  
bezprzewodowej transmisji energii elektrycznej*"

wykonanej pod kierunkiem Prof. P.P. dr. hab. inż. R. M. Wojciechowskiego

(promotor pomocniczy L. Knypiński)

Opinia opracowana na zlecenie Dziekana Wydziału Automatyki, Robotyki i Elektrotechniki  
Politechniki Poznańskiej z dnia 11 lipca 2023 r.

### 1. Ocena wyboru tematu rozprawy

Praca doktorska "*Obwodowo - polowa analiza i synteza układów uzwojeń w systemach bezprzewodowej transmisji energii elektrycznej*", dotyczy aktualnej i rozwijanej w ostatnich latach dziedziny wspomaganego komputerowo projektowania i optymalizacji konstrukcji systemów bezprzewodowej transmisji energii elektrycznej (SBTE)

Od początku lat 90-tych XX wieku można zaobserwować wzrost zainteresowania taką technologią. Szybki rozwój konstrukcji systemów bezprzewodowej transmisji energii elektrycznej spowodowany został, w ostatnich latach, znaczącym postępem technologicznym w dziedzinie materiałów i energoelektroniki, a także rozwojem metod obliczeniowych i związanych z tymi metodami programów. Systemy (SBTE), chociaż stanowią grupę mniej zbadaną, jednak w literaturze można znaleźć wiele rozwiązań bezprzewodowego transferu energii. Z uwagi na swoje zalety – proste układy cewek sprzężonych magnetycznie – znajdują one zastosowanie w przemyśle motoryzacyjnym, elektronice użytkowej, medycynie oraz automatyce i elektrotechnice. Zaletą systemów (SBTE) jest brak przewodów zasilających i wzrost bezpieczeństwa, natomiast wadą niższa wydajność i sprawność. Bezprzewodowy transport energii może być realizowany za pomocą pola elektrycznego, pola magnetycznego, fali świetlnej, fal ultradźwiękowych oraz drgań mechanicznych. Autorka ograniczyła się do układów z polem magnetycznym i cewkami sprzężonymi magnetycznie. Podstawowymi elementami składowymi SBTE są układy cewek, obwody rezonansowe oraz układy zasilające

i odbiorcze. W celu zwiększenia sprawności układu stosuje się też koncentratory pola w formie płyt ferromagnetycznych. Intensyfikacja działań mających na celu projektowanie i produkcję Systemów SBTE o coraz większych wartościach sprawności wymusza stosowanie wyrafinowanych metod analizy i syntezy.

Tematyka rozprawy ukierunkowana jest na problemy optymalizacji systemów bezprzewodowej transmisji energii elektrycznej. Modele polowo-obwodowe systemów bezprzewodowej transmisji energii elektrycznej umożliwiają badanie ich właściwości eksploatacyjnych.

Dlatego też wybór tematu rozprawy doktorskiej Pani **mgr inż. Mileny A. KURZAWY** uważam za trafny i aktualny zarówno z punktu widzenia rozwiązania problemu naukowego jakim jest optymalizacja konstrukcji wybranych systemów bezprzewodowej transmisji energii elektrycznej, jak też ze względu na jego charakter aplikacyjny.

Zakład Mechatroniki i Maszyn Elektrycznych Politechniki Poznańskiej od kilku lat realizuje w sposób ciągły badania z tej obszernej i ciekawej problematyki.

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska znajduje się w głównym nurcie współczesnego projektowania urządzeń elektrotechnicznych za pomocą technik należących do tzw. elektromagnetyzmu obliczeniowego. Reasumując stwierdzam, że praca badawcza Pani **mgr inż. Mileny A. KURZAWY** doprowadziła do powstania - użytecznego i skutecznego narzędzia analizy, projektowania i optymalizacji konstrukcji systemów bezprzewodowej transmisji energii elektrycznej.

Tematykę rozprawy uważam więc za aktualną i nowoczesną. Szerokie spektrum problemów, które pojawiły się w trakcie wykonywania badań, jak również aktualność tematyki z punktu widzenia technicznego gwarantują, że badania mogą być kontynuowane w przyszłości.

## **2. Cel i teza naukowa rozprawy**

Praca Pani **mgr inż. Mileny A. KURZAWY** jest wynikiem systematycznych studiów nad zagadnieniem badania, modelowania i optymalizacji systemów bezprzewodowej transmisji energii elektrycznej.

Przedmiotem pracy jest konstrukcja dwu- i trójwymiarowych modeli obwodowych, polowych i polowo-obwodowych systemów bezprzewodowej transmisji energii elektrycznej i wykorzystanie ich do optymalizacji konstrukcji takich systemów oraz częściowa weryfikacja z pomiarami na modelach fizycznych.

Zbudowane modele systemów bezprzewodowej transmisji energii elektrycznej o sprawnościach większych, są efektem optymalizacji.



Autorka formułuje cel pracy na str. 13, który sprowadza się do opracowania efektywnych procedur numerycznych do analizy stanów pracy i syntezy modeli systemów bezprzewodowej transmisji energii elektrycznej ze skutecznie działającą procedurą optymalizacyjną. Tak postawiony cel pracy uważam za w pełni poprawny i uzasadniony.

Autorka wyszczególnia dwie tezy naukowe rozprawy (str. 14). Zagadnienie naukowe, jakie Autor postawił sobie do rozwiązania, zostało określone logicznie i precyzyjnie. Prezentowane wyniki symulacji komputerowych i badań eksperymentalnych mające na celu udowodnienie postawionych tez, przedstawiono w sposób czytelny i przejrzysty.

### **3. Ocena merytoryczna rozprawy**

Przedstawiona rozprawa została przygotowana jako praca promocyjna (doktorska). Praca składa się z siedmiu rozdziałów podstawowych, wykazu ważniejszych oznaczeń i spisu literatury (176 pozycje, w tym 12 prac własnych Doktorantki). Recenzowaną rozprawę zaliczam do grupy prac metodologiczno-projektowych. Stanowi ona istotny wkład w rozwój technik analizy, projektowania i optymalizacji systemów bezprzewodowej transmisji energii elektrycznej. Nie ulega wątpliwości, że Doktorantka osiągnęła bardzo wysoki stopień opanowania teorii i techniki obliczeń pól elektromagnetycznych dwu- i trójwymiarowych oraz technik optymalizacji.

Praca jest skonstruowana poprawnie, zawiera wstęp wraz z omówieniem stanu wiedzy, wyraźnie sformułowane cele oraz precyzyjnie postawione tezy (rozdział 1). W rozdziale 2 opisano współczesne konstrukcje systemów bezprzewodowej transmisji energii elektrycznej oraz obszary zastosowań.

Rozdział 3 i następne stanowią własny wkład Doktorantki. W rozdziale 3 Autorka przedstawiła modele obwodowe systemów bezprzewodowej transmisji energii elektrycznej. Zasugerowała ograniczenia wynikające z założeń upraszczających oraz przedstawiła zależności analityczne i metody polowe wyznaczania parametrów SBTE.

Rozdział 4 jest poświęcony zagadnieniom dotyczącym polowego modelu zjawisk MES w ujęciu dwuwymiarowym (sformułowanie  $\mathbf{A-V-T}_0$  oraz  $\mathbf{A-V}$ ) z symetrią osiową oraz ujęciu trójwymiarowym (sformułowanie  $\mathbf{\Omega-T-T}_0$ ) do analizy systemów bezprzewodowej transmisji energii elektrycznej. Autorka opracowała własne efektywne algorytmy do analizy i syntezy SBTE, bazujące na metodzie elementów skończonych wykorzystując funkcje interpolacyjne elementu krawędziowego i ściankowego. Uwzględniono, że w rozpatrywanych układach mogą występować koncentratory pola, w których powstają prądy wirowe. Do badanych w pracy układów SBTE wykorzystano obwody Forstera i Cauera.

W rozdziale 5 Autorka przedstawiła opracowane środowisko komputerowe do analizy ekwiwalentnych modeli elektromagnetycznych systemów bezprzewodowej transmisji energii elektrycznej wykorzystujących zastępcze obwody Forstera i Cauera. Szeroko omówiła zaproponowane modyfikacje algorytmów, zaproponowane funkcje celu i możliwości zawężenia zakresu funkcji decyzyjnych. Analizowała również metodę bezpośredniego rozkładu ortogonalnego (POD) i metodę Pade via Lanczos.

Za najważniejsze osiągnięcia Autorki uważam wyniki prac przedstawione w rozdziale 6 i 7. W rozdziale 6 Autorka zbadła poprawność działania oprogramowania na zadaniach testowych dotyczących modeli systemów bezprzewodowej transmisji energii elektrycznej. Przebadano cztery układy: cewkę z przewodzącym rdzeniem, układy cewek sprzężonych magnetycznie z koncentratorami pola oraz transformator impulsowy. Autorka wykazała skuteczność stosowania modeli ekwiwalentnych. Wyniki badań eksperymentalnych potwierdzają wyniki badań symulacyjnych.

W rozdziale 7 zamieszczono podsumowanie.

Oceniając pracę chcę podkreślić, że została ona wykonana na bardzo dobrym poziomie i jest wartościowa z punktu widzenia pogłębienia wiedzy na temat modelowania i optymalizacji konstrukcji systemów bezprzewodowej transmisji energii elektrycznej. Wnosi ona także oryginalny wkład naukowy i potwierdza wysokie kwalifikacje Autorki rozprawy.

**Do oryginalnych osiągnięć w pracy doktorskiej można zaliczyć:**

- 1.** wykonanie gruntownego przeglądu literatury dotyczącego układów SBTE;
- 2.** dokonanie krytycznej oceny metod analitycznych wyznaczania parametrów schematów zastępczych systemów SBTE;
- 3.** opracowanie autorskiego środowiska komputerowego, które może być uniwersalnym narzędziem do analizy stanów pracy, wspomaganie procesu projektowania oraz optymalizacji systemów bezprzewodowej transmisji energii elektrycznej. Oprogramowanie składa się z dwóch modułów: polowego modelu zjawisk MES w ujęciu dwuwymiarowym (sformułowanie  $\mathbf{A-V-T}_0$  oraz  $\mathbf{A-V}$ ) z symetrią osiową oraz w ujęciu trójwymiarowym (sformułowanie  $\mathbf{\Omega-T-T}_0$ ). Opracowane środowisko umożliwia także uwzględnienie koncentratorów pola, w których powstają prądy wirowe;
- 4.** Opracowanie i sformułowanie unikatowych modeli układów z polem elektromagnetycznym na bazie zastępczych obwodów Forstera i Cauera;
- 5.** Opracowanie i wdrożenie metod wyznaczania wartości parametrów obwodów Forstera i Cauera opartych na metodzie dopasowania ortogonalnego, metodzie bezpośredniego rozkładu ortogonalnego (POD) i metodzie Pade via Lanczos;



6. Opracowanie autorskich algorytmów umożliwiających połączenie równań MES w ujęciu wielostopniowym z metodami redukcji rzędu macierzy;
7. Opracowanie efektywnego połączenia strategii ewolucji i algorytmu genetycznego z autorską procedurą umożliwiającą zawężanie obszaru poszukiwań (operator zwany „dopływem świeżej krwi”). Wykazano dużą efektywność tej strategii. Jak wynika z przedstawionych w rozprawie rozważań, dzięki takiej modyfikacji można uzyskać skrócenie czasu obliczeń w porównaniu z procedurą klasyczną;
8. Analizę efektywności procesów analizy i syntezy układów z polem elektromagnetycznym z wykorzystaniem modeli matematycznych o różnym stopniu złożoności: modeli o parametrach skupionych (modeli obwodowych), modeli o parametrach rozłożonych (modeli polowych), a także modeli połowo-obwodowych (modeli ekwiwalentnych). Autorka wskazała w jakich przypadkach, ze względów ekonomicznych, uzasadnione jest stosowanie modeli uproszczonych, a w jakich konieczne jest stosowanie dokładniejszych modeli polowych;
9. Autorka wykazała, że zastosowanie modeli ekwiwalentnych znacznie redukuje czas obliczeń w stosunku do metod polowych.

Brak też moim zdaniem poważniejszych błędów i uchybień, które należałoby podnieść.

W trakcie zapoznawania się z treścią pracy nasunęło mi się kilka pytań i uwag dyskusyjnych, do których prosiłbym o komentarz ze strony Doktorantki:

1. Ograniczenia proponowanych w pracy algorytmów i oprogramowania do analizy i syntezy systemów bezprzewodowej transmisji energii elektrycznej.
2. Czy prezentowane w pracy autorskie oprogramowanie umożliwi optymalne zaprojektowanie systemów SBTE i uzyskanie większej sprawności?
3. Jakie zakresy mocy i sprawności uzyskuje się obecnie w systemach SBTE? Prosiłbym Autorkę o komentarz w tej sprawie.
4. Czy istnieje możliwość zastosowania algorytmów równoległych w opracowanym autorskim oprogramowaniu i jakie Autorka widzi korzyści?
5. Co Autorka sądzi o rozbudowaniu algorytmu optymalizacyjnego o bazę danych, w której zapisywano by dane osobników i obliczony dla nich np. moment średni. Przed wykonaniem obliczeń polowych baza byłaby przeszukiwana, aby sprawdzić czy dla wygenerowanego wcześniej osobnika nie zostały wykonane obliczenia polowe. Pozwoliłoby to być może na znaczne zmniejszenie czasu obliczeń (prace dr M. Kowola [75]).
6. Autorka preferuje dwie metody: algorytm genetyczny (GA) i strategię ewolucji (ES). Czy Autorka mogłaby przedstawić na podstawie literatury i własnych

- doświadczeń możliwości optymalizacji dotyczące metody dopasowania (Fitting Method) za pomocą innych, nieewolucyjnych algorytmów niedeterministycznych
7. Co Autorka sądzi o zastosowaniu algorytmu optymalizacyjnego hybrydowego? (połączenie algorytmu genetycznego z algorytmem deterministycznym)? Może pozwoliłoby to na znaczne zmniejszenie czasu obliczeń.
  8. Możliwości rozszerzenia opracowanego oprogramowania?
  9. Jak Autorka dobierała funkcję celu (str.111)?
  10. W pracy Autorka porównuje wyniki metody dopasowania („*fitting method*”) z 2 metodami należącymi do grupy metod dopasowania ortogonalnego, tj. metodą POD i PvL. Zdaniem Autorki, która z rozważanych przez nią metod charakteryzuje się najlepszym odwzorowaniem rozpatrywanych w pracy układów?
  11. Proszę o podanie kierunków dalszych badań?

#### **4. Uwagi szczegółowe**

Praca została napisana poprawnym i zrozumiałym stylem. Podkreślam staranność Autorki w poprawnym zapisywaniu wzorów matematycznych oraz bardzo dobrą stroną graficzną pracy.

W pracy znalazłem niewiele błędów edytorskich (np. str.: 47, 76, 77, 79, 84, 88, 91, 95, 106, 118, 122, 139, 87, 99, 139) oraz błędów stylistycznych (np. str.: 36, 48, 65, 67, 81), które nie wpływają na ostateczną pozytywną ocenę pracy.

Należy zwrócić jednak uwagę na pewne niedociągnięcia:

- str.44, nie „mega herc”, a „megaherc”;
- str. 61, 65, 83 jest „między zwojowe” - powinno być „międzyzwojowe”;

Część uwag szczegółowych, w tym przede wszystkim uwagi dotyczące stosowanych w pracy zwrotów i sformułowań, przekazałem Autorce osobiście.

#### **5. Konkluzja recenzji**

Stwierdzam, iż rozprawa jest napisana bardzo starannie, układ pracy jest precyzyjny i logiczny, a strona graficzna jest wzorowa. Wnioski końcowe uzyskane w pracy są poprawne i interesujące.

Przedstawione powyżej uwagi ogólne i szczegółowe nie obniżają mojej pozytywnej oceny pracy.

Wyniki rozważań zawarte w rozprawie upoważniają do stwierdzenia, iż zostały udowodnione tezy oraz osiągnięto założone cele pracy.



Przedstawiona rozprawa dowodzi, że Doktorantka umiejętnie korzysta z najnowszej literatury w obranej dziedzinie wiedzy, podchodzi do niej krytycznie, a ponadto potrafi twórczo rozwijać osiągnięcia innych autorów.

Doktorantka wykazała się bardzo dobrą znajomością nowoczesnej metodyki modelowania złożonych obiektów fizycznych, metod numerycznych i technik programowania. Uważam, że praca stanowi samodzielne rozwiązanie przez Autorkę szeregu zagadnień naukowych przy użyciu nowoczesnych metod badawczych.

Praca została zrealizowana w ramach grantu „System bezprzewodowego przesyłu energii elektrycznej wykorzystujący pole elektromagnetyczne wyższych częstotliwości” finansowanego z dotacji celowej na prowadzenie badań naukowych lub prac rozwojowych służących rozwojowi młodych naukowców oraz uczestników studiów doktoranckich.

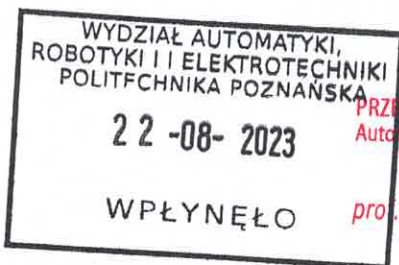
Uważam, że opiniowana praca zawiera oryginalne i wartościowe wyniki badań naukowych, które sytuują ją w dyscyplinie naukowej automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne.

Stwierdzam, iż przedstawiona rozprawa pt. "*Obwodowo - polowa analiza i synteza układów uzwojeń w systemach bezprzewodowej transmisji energii elektrycznej*" autorstwa Pani **mgr inż. Mileny A. KURZAWY** stanowi samodzielne rozwiązanie zadania badawczego i spełnia wszystkie wymagania stawiane pracom doktorskim przez Ustawę o Tytule Naukowym i Stopniach Naukowych oraz o Stopniach i Tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. (Dz. U. Nr. 65, poz. 595), Rozporządzenia Ministra Edukacji Narodowej i Sportu z dnia 15 stycznia 2004 roku, Rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 3 października 2014 roku, Rozporządzenie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz. U. z 2018 r., poz. 261, obowiązujące od dnia 01.02.2018 roku) oraz na podstawie art. 179 ust. 1 ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. – Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r. poz. 1669, z późn. zm.).

W związku z powyższym stawiam wniosek o przyjęcie przedstawionej pracy jako rozprawy doktorskiej i dopuszczenie jej Autorki Pani **mgr inż. Mileny A. KURZAWY** do publicznej obrony pracy.



prof. dr hab. inż. Marian Lukomszyn



PRZEWODNICZĄCY RADY DYSCYPLINY  
Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika  
i Technologie Kosmiczne  
prof. dr hab. inż. Wojciech Szeląg

Opole, 20.08.2023 r.

Prof. dr hab. inż. Marian ŁUKANISZYN  
Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki  
Politechnika Opolska

**Mgr inż. Mileny A. KURZAWY**  
**pt. "Obwodowo - polowa analiza i synteza układów uzwojeń w systemach  
bezwodowej transmisji energii elektrycznej"**  
**wykonanej pod kierunkiem Prof. P.P. dr. hab. inż. R. M. Wojciechowskiego**  
(promotor pomocniczy L. Knypiński)

### Wniosek dodatkowy

Biorąc pod uwagę wysoki poziom merytoryczny rozprawy (zastosowane zaawansowane metody modelowania i symulacji komputerowej), nowoczesność podjętej tematyki, bardzo ciekawe wyniki badań, precyzyjnie sformułowane wnioski końcowe oraz wzorową stronę graficzną pracy, uważam recenzowaną pracę za wyróżniającą. Zgłaszam wniosek o wyróżnienie rozprawy doktorskiej pt. " *Obwodowo - polowa analiza i synteza układów uzwojeń w systemach bezwodowej transmisji energii elektrycznej* " autorstwa Pani **mgr inż. Mileny A. KURZAWY**.

Dodatkowym argumentem jest wyjątkowy dorobek naukowy Doktorantki w liczbie 30 artykułów naukowych w czasopismach i 10 w materiałach konferencyjnych (w tym współautorskie artykuły w renomowanych czasopismach: *Measurements, Sensors, Archives of Electrical Engineering* indeksowanych w bazie Web of Science Core Collection (WOS CC); oraz 2 współautorskie rozdziały zamieszczone w monografii *Computer Applications in Electrical Engineering*). Za artykuł „*A system of wireless transmission of electric energy with the selection of resonant capacitance*” opublikowany na Międzynarodowej Konferencji „*Computational Problems of Electrical Engineering CPEE*” w 2016 roku otrzymała *Award of the best paper presentation*.

Mgr inż. Milena Kurzawa aktywnie uczestniczy również w badaniach realizowanych w ramach umowy o współpracy pomiędzy Politechniką Poznańską a firmą UTC Climate, Controls & Security and Otis Elevator Company. W ramach tej współpracy w latach 2016 – 2017r. brała udział (jako wykonawca) w realizacji sześciu projektów badawczych. Uzyskała również i kierowała projektem finansowanym z Narodowego Centrum Nauki w ramach **PRELUDIUM**, w latach 2020 – 2023 pt.: „*Komputerowy system do modelowania i analizy stanów pracy transformatorów małej mocy zasilanych ze źródeł wyższych częstotliwości*”

*Me. J. K.*



Moim zdaniem, praca doktorska Pani **mgr inż. Mileny A. KURZAWY** mogłaby zostać zgłoszona do Nagrody Premiera R.P. bądź Promocyjnej Nagrody Siemens z dużymi szansami na sukces.

Moim zdaniem, praca mogłaby też zostać z powodzeniem opublikowana w formie monografii.



prof. dr hab. inż. Marian Łukaniszyn