WYDZIAŁ ELEKTRYCZNY
DZIEKANAT
Wpł. 25-11-2019
Rektor Politechniki Poznańskiej
prof. dr hab. inż. Tomasz Kozłowski

prof. dr hab. inż. Bernard Baron
Politechnika Opolska
Instytut Systemów Napędowych i Robotyki
Katedra Robotyki i Zastosowań Informatyki

Opole, 11.10.2019

Z up. prof. dr hab. inż. Andrzej Kasiński
Dziekan

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Krzysztofa Króla

p.t. „Optymalizacja rozkładu natężenia pola elektrycznego i magnetycznego wokół napowietrznych linii elektroenergetycznych"

Recenzja opracowana na zlecenie Dziekana Wydziału Elektrycznego Politechniki Poznańskiej prof. dr. hab. inż. Zbigniewa Nadolnego z dnia 30.09.2019r.

1. Ocena wyboru tematu, celu, tezy i zakresu rozprawy

Przedstawiona do oceny rozprawa składa się ze Spisu treści, Wykazu wybranych oznaczeń i symboli, Streszczenia (w wersji polsko- i anglojęzycznej) oraz 6 rozdziałów. Prace kończy bibliografia cytowana w treści opracowania. Rozprawa zawarta jest na 137 stronach tekstu. Spis cytowanych źródeł zawiera pozycje głównie opublikowane w ostatnim dwudziestoleciu, w tym dwie publikacje Autora i 5 publikacji współautorskich, jest więc to spis aktualny i reprezentatywny dla tematyki rozprawy, a równocześnie potwierdza szeroką wiedzę Doktoranta z tematyki, którą się zajmuje. Rozprawa dotyczy dyscypliny naukowej Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika.

Promotorem rozprawy doktorskiej mgr. inż. Krzysztofa Króla jest prof. dr hab. inż. Wojciech Machczyński, a promotorem pomocniczym dr inż. Krzysztof Budnik.

Tematyka rozprawy jest związana z ważną i aktualną problematyką przesyłu energii za pośrednictwem napowietrznych linii elektroenergetycznych, a w szczególności kształtowaniu pola elektromagnetycznego towarzyszącemu ich pracy w normalnych warunkach działania. Do przesyłu energii dużych mocy stosuje się powszechnie napowietrzne linie elektroenergetyczne o napięciu 110 kV, 220 kV oraz 400 kV. Sposób projektowania linii WN i NN zapewnia bezpieczeństwo ich użytkowania, szczególnie w zakresie bezpieczeństwa przeciwporażeniowego, ale także pod kątem ograniczenia ekspozycji ludności na pole elektromagnetyczne towarzyszące przesyłowi energii elektrycznej.

Oddziaływanie pola elektromagnetycznego na obiekty techniczne oraz ludzi w obszarze jego występowania stanowi problem często spotykany w praktyce. Konieczność oszczędnej gospodarki terenami, zwłaszcza w rejonach zindustrializowanych, sprawia, że tworzy się tzw. korytarze przesyłu energii, w których grupuje się napowietrzne linie elektroenergetyczne wysokiego i najwyższego napięcia, urządzenia trakcji elektrycznej, kable energetyczne i teletechniczne oraz magistralne rurociągi wody, gazu i paliw płynnych. Zbliżenie tras tych obiektów stwarza zagrożenia wynikające z oddziaływań natury elektrycznej i magnetycznej. Wśród zagadnień związanych z tą tematyką wyróżnić można między innymi grupy problemów, które dotyczą identyfikacji pól elektromagnetycznych dla celów ochrony ludzi przed polem elektromagnetycznym. Wzrost zainteresowania wpływem pól elektromagnetycznych generowanych przez urządzenia elektryczne elektroenergetyczne na organizmy żywe, w szczególności na człowieka, doprowadził do intensyfikacji badań w tym obszarze. Dotyczą one głównie metod obliczania rozkładu pola elektromagnetycznego generowanego przez urządzenia elektryczne oraz sposobów redukcji ich wartości. Bezpośrednio z tym związane są również zagadnienia optymalizacji parametrów samych linii przesyłowych jak i instalacji ekranujących.

Na wartość natężenia pola elektromagnetycznego w otoczeniu linii napowietrznych wysokiego napięcia wpływają takie parametry jak: napięcie linii, natężenie prądu płynącego przewodami fazowymi, odległości pomiędzy przewodami fazowymi a ziemią, odstępy pomiędzy przewodami różnych faz lub wiązkami przewodów, jeśli w linii zastosowano przewody wiązkowe,

geometryczny układ przewodów fazowych oraz wzajemne usytuowanie przewodów lub wiązek tej samej fazy, pola przekrojów poprzecznych przewodów, itp.

Rozkłady przestrzenne pól elektrycznego i magnetycznego w otoczeniu linii napowietrznych wysokiego napięcia zależą w dużej mierze od konstrukcji słupów i konfiguracji przewodów. Zwykle przebieg linii przesyłowych projektuje się tak, aby w miarę możliwości omijały tereny zurbanizowane. W sytuacjach, kiedy obszary zabudowy mieszkaniowej znacząco zbliżają się do linii elektroenergetycznych, co może mieć miejsce szczególnie w miastach lub na przedmieściach, może pojawić się problem z zachowaniem standardów wymaganych ustawowo. Rozporządzenie Ministra Środowiska określa dopuszczalne poziomy pola elektromagnetycznego w szerokim zakresie częstotliwości, wyróżniając też częstotliwość 50 Hz stosowaną w energetyce. Ograniczeniu podlega zarówno natężenie pola magnetycznego jak i elektrycznego. Dopuszczalne natężenia pola magnetycznego w miejscach dostępnych dla ludności wynosi 60 A/m, pola elektrycznego ogólnie 10 kV/m, przy czym dla terenów przeznaczonych pod zabudowę mieszkaniową wprowadzono dodatkowe ograniczenie 1 kV/m. O ile wartość natężenia składowej magnetycznej leży zwykle znacznie poniżej wartości dopuszczalnych, to w niektórych przypadkach natężenie składowej elektrycznej może być zbliżone lub nawet przekraczać ograniczenie 1 kV/m. Znajomość rozkładów pola elektrycznego i pola magnetycznego wokół linii elektroenergetycznych jest niezbędna na etapie zarówno ich projektowania, jak i późniejszej eksploatacji. Analityczne wyznaczenie tych pól w praktycznych przypadkach jest najczęściej niemożliwe, co powoduje konieczność zastosowania odpowiednich metod numerycznych, których programowa realizacja daje możliwość kompleksowej identyfikacji rozkładów pól w przestrzeni trójwymiarowej. Pewne możliwości ograniczenia poziomów pól elektrycznego i magnetycznego oraz kształtowania ich rozkładu polegają na odpowiednim wyborze konfiguracji geometrycznej linii napowietrznej, przy założeniu stałych wartości przesyłanej mocy, napięć i prądów. Prowadzić to może do istotnego zmniejszenia obciążenia środowiska generowanymi polami poprzez optymalny dobór np. konstrukcji wsporczych, wzajemnego usytuowania przewodów fazowych oraz odgromowych, zastosowanie układów wielotorowych, itp.

Celem recenzowanej pracy jest zastosowanie algorytmów optymalizacyjnych do wyznaczania nowych parametrów geometrycznych linii elektroenergetycznej, zapewniających redukcję wartości natężeń 3-wymiarowych pól elektrycznego i magnetycznego o częstotliwości 50 Hz przy wykorzystaniu technik modelowania pola elektrycznego oraz pola magnetycznego, a w szczególności poprzez obliczenia numeryczne. Praca udowadnia tezę, że możliwa jest optymalizacja rozkładu natężenia pola elektrycznego i magnetycznego wokół linii elektroenergetycznych przy pomocy algorytmów heurystycznych. Uważam jednak, że założona teza jest bardzo ogólna i w związku z tym mogłaby wydawać się oczywista, dlatego w mojej ocenie zyskałby jej walor naukowo-poznawczy poprzez wprowadzenie uszczegółowień.

Zakres pracy obejmuje:

- wstęp, przegląd literatury przedmiotu, omówienie stanu badań,
- prezentację metod dokładnej oraz uproszczonej obliczania natężeń pól elektrycznego i magnetycznego napowietrznej linii elektroenergetycznej, porównanie wyników obliczeń z wynikami pomiarów na rzeczywistych liniach WN i NN,
- wybór i opis metody optymalizacji i algorytmów optymalizacyjnych,
- przeprowadzenie symulacji komputerowych rozkładów przestrzennych pól elektrycznych i magnetycznych w otoczeniu linii elektroenergetycznych WN i NN,
- prezentację metod redukcji i wyników optymalizacji rozkładów pól elektrycznych i magnetycznych linii elektroenergetycznych,
- sformułowanie wniosków i podsumowanie.

Uważam, że temat podjęty przez Autora ma znaczenie poznawcze i aplikacyjne. Cel, teza oraz zakres badań zrealizowanych w ramach rozprawy zasługują w mojej opinii na pozytywną ocenę.

2. Ocena treści rozprawy

Zaproponowana w rozprawie struktura rozdziałów jest typowa. W rozdziale pierwszym, będącym wprowadzeniem w problematykę, dokonano przeglądu literatury dotyczącej tematu pracy. Omówiono możliwe zagrożenia wynikające z oddziaływania pola elektromagnetycznego na materię ożywioną. Podano bezpieczne wartości natężenia pola elektrycznego i magnetycznego zgodnie z

Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 30 października 2003 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku oraz sposobów sprawdzania dotrzymania tych poziomów, Dz. U. nr 192, poz. 1883 (14 listopada 2003). Przedstawiono rozwiązania prowadzące do ograniczenia wartości parametrów pola elektromagnetycznego oraz omówiono wstępnie zastosowaną metodę optymalizacji rozkładu pola elektromagnetycznego. Sformułowano cel, tezę pracy oraz jej zakres.

W drugim rozdziale przedstawiono metodę uproszczoną oraz dokładną obliczania rozkładu natężenia pola elektrycznego i magnetycznego napowietrznej linii elektroenergetycznej, bazujące na klasycznej metodzie odbić zwierciadlanych oraz metodzie ładunków symulacyjnych. Zaprezentowano przykładowe wyniki symulacji rozkładu natężeń pola elektrycznego i magnetycznego pod linią elektroenergetyczną przy pominięciu oraz przy uwzględnieniu wpływu zwisu przewodów.

W rozdziale trzecim, w celu weryfikacji opracowanej metody symulacyjnej, porównano wyniki obliczeń z wynikami pomiarów wykonanymi pod rzeczywistymi liniami elektroenergetycznymi w miejscu największego zwisu przewodów w kierunku poprzecznym do trasy linii, na wysokości 2 metrów. Wykonane obliczenia poprawnie odzwierciedlają rzeczywisty rozkład natężenia pola elektrycznego i magnetycznego.

W rozdziale czwartym omówiono algorytmy optymalizacyjne funkcji wielu zmiennych. Przedstawiono funkcję celu oraz wybrano parametry algorytmów genetycznego GA i roju cząstek PSO. Jako funkcję celu wybrano wartość pola elektrycznego oraz wartość pola magnetycznego, natomiast zmiennymi decyzyjnymi są wymiary geometryczne rozpatrywanych linii elektroenergetycznych WN oraz NN. Ograniczenia w procesie optymalizacji stanowią dopuszczalne parametry geometryczne linii oraz naprężenia mechaniczne przewodów.

W rozdziale piątym zaprezentowane zostały metody redukcji natężenia pola elektrycznego i magnetycznego pod linią elektroenergetyczną i w jej otoczeniu. Dokonano optymalizacji rozkładu natężenia pola elektrycznego i magnetycznego za pomocą algorytmów heurystycznych (GA i PSO) dla przykładowych linii elektroenergetycznych. Wykonano również symulacje i optymalizacje dla linii wielotorowych. Uwzględniono dodatkowe przewody redukcyjne zawieszone pod przewodami fazowymi. Przeprowadzono optymalizację rozkładu natężenia pola elektrycznego oraz magnetycznego na różnych wysokościach ściany budynku sąsiadującego z napowietrzną linią elektroenergetyczną.

W rozdziale szóstym przedstawiono podsumowanie pracy i nakreślono program dalszych badań. Główne osiągnięcia Autora rozprawy polegają na:

- opracowaniu środowiska komputerowego (w tym autorska implementacja PSO zweryfikowana algorytmem genetycznym GA), które może być uniwersalnym narzędziem do badania trójwymiarowego rozkładu natężenia pola elektrycznego i magnetycznego w układzie napowietrznych linii elektroenergetycznych,
- dokonaniu częściowej weryfikacji wyników otrzymanych w procesie symulacji poprzez porównanie z wynikami pomiarów,
- uwzględnieniu w procesie optymalizacji obecności przewodów redukcyjnych w linii elektroenergetycznej,
- optymalizacji rozkładu natężenia pola elektrycznego i magnetycznego w obszarze bliskiego występowania linii elektroenergetycznej i zabudowań na wysokościach większych od 2 metrów,
- uwzględnieniu w obliczeniach natężenia pola magnetycznego linii elektroenergetycznych prądów wzbudzonych w przewodach odgromowych oraz przewodach redukcyjnych.

W oparciu o omówienie i analizę treści rozprawy doktorskiej mgr. inż. Krzysztofa Króla oceniam pozytywnie wybór tematyki, celu i zakresu. Uważam ponadto, że Autor osiągnął zamierzone cele i udowodnił postawioną tezę, która jednakże moim zdaniem została sformułowana zbyt ogólnikowo (można ją było rozbudować poprzez określenie dodatkowych celów). Przedstawiona do recenzji rozprawa przygotowana została w sposób poprawny. Większość zamieszczonych rysunków, wykresów i tabel jest wyraźna, przejrzysta i wykonana z należytą starannością. Praca została napisana poprawnie pod względem językowym, ale Autor nie ustrzegł się drobnych usterek edycyjnych, interpunkcyjnych i stylistycznych, które jednak w żadnej mierze nie podważają pozytywnej oceny edycji pracy. W związku z powyższym uważam, że recenzowana praca nie wymaga żadnych zmian ani dodatkowych uzupełnień.

3. Najważniejsze wyniki uzyskane w pracy

Dotychczasowe opracowania dotyczące problemów związanych z optymalizacją rozkładu pól elektrycznych i magnetycznych wokół linii elektroenergetycznych opierają się na wielu założeniach upraszczających: pomija się zwis przewodów (problem sprowadza się do dwóch wymiarów), przewody linii są prostoliniowe i nieskończenie długie, umieszczane równolegle do powierzchni gruntu na wysokości odpowiadającej np. najniższemu punktowi zwisu przewodnika, wszystkie fazy są równomiernie obciążone, pomija się przewody odgromowe lub prądy indukowane w przewodach odgromowych, pomija się prądy indukowane w ziemi. Jest to podejście problematyczne, które może powodować znaczące odstępstwo wyników badań symulacyjnych od stanu rzeczywistego.

W rozprawie doktorskiej „*Optymalizacja rozkładu natężenia pola elektrycznego i magnetycznego wokół napowietrznych linii elektroenergetycznych*" mgr inż. Krzysztof Król przeprowadził analizy i optymalizacje konfiguracji geometrycznej linii napowietrznej, przy założeniu stałych wartości przesyłanej mocy, napięć i prądów, prowadzące do minimalizacji, w wybranym obszarze wokół linii, wartości natężenia pól elektrycznego i magnetycznego o częstotliwości 50 Hz do wartości akceptowanych przez obowiązującą ustawę. Ponadto założył, że ziemia jest półnieskończonym jednorodnym ośrodkiem przewodzącym o stałej konduktywności i przenikalności magnetycznej μ_0, powierzchnia ziemi jest płaszczyzną, a przewody linii zawieszone są na słupach o równych wysokościach. Rozważania ograniczył do rozpatrywania rozkładów pola elektrycznego i magnetycznego w obszarze jednego przęsła, pomijając wpływ obecności przęseł sąsiednich.

Analizę rozkładu pola elektrycznego 3D przeprowadził Autor przy zastosowaniu metody ładunków symulacyjnych, metody odbić zwierciadlanych oraz zasady superpozycji. Założył segmentową aproksymację przewodu linii elektroenergetycznej ze zwisem, modelowanego jako krzywa łańcuchowa, oraz uwzględnił zmienność rozkładu gęstości liniowej ładunków symulacyjnych wzdłuż segmentów. Rozkład pola magnetycznego 3D Doktorant wyznaczył z prawa Biota – Savarta oraz stosując zasadę superpozycji. Uwzględnił zwis przewodów, prądy w przewodach fazowych oraz prądy indukowane w przewodach odgromowych oraz redukcyjnych. Obecność prądów indukowanych w ziemi uwzględnił przy wyznaczaniu impedancji własnych oraz impedancji wzajemnych między przewodami linii. Warto zauważyć, że modele obliczeniowe natężeń pól elektrycznego i magnetycznego zostały poddane częściowej - pozytywnej weryfikacji poprzez porównanie wyników otrzymanych w procesie symulacji z wynikami pomiarów na obiektach rzeczywistych.

W celu zredukowania natężeń pola elektrycznego oraz pola magnetycznego wokół linii elektroenergetycznej mgr inż. K. Król wykorzystał heurystyczne algorytmy optymalizacyjne: algorytm genetyczny (GA) oraz algorytm roju cząstek (PSO), brak jednak uzasadnienia wyboru właśnie takich algorytmów. Algorytm genetyczny został dostosowany do obliczeń przy pomocy standardowej funkcji GA znajdującej się w środowisku programistycznym MATLAB. Algorytm roju cząstek PSO został przystosowany do wykonania optymalizacji natężenia pola elektrycznego i magnetycznego za pomocą nowej - autorskiej funkcji napisanej w MATLABie. Funkcją celu jest minimalizacja natężenia pola elektrycznego i magnetycznego wokół linii elektroenergetycznej, a zastosowany algorytm dobiera takie parametry geometryczne linii jak: wysokość zawieszenia przewodów fazowych odgromowych i redukcyjnych, wysokość minimalna dla przewodów linii w połowie rozpiętości przęsła oraz odległość między przewodami. Należy zaznaczyć, że dobór parametrów geometrycznych odpowiada możliwościom technicznym konstrukcji i dokonywany jest z zachowaniem podstawowych zasad projektowania linii WN i NN. W wyniku optymalizacji rozkładów natężeń pól elektrycznego i magnetycznego analizowanych linii elektroenergetycznych o różnych poziomach napięć, Autor uzyskał wielokrotne zmniejszenie wartości natężeń tych pól. Porównanie obu metod optymalizacyjnych GA oraz PSO wykazało dobrą zbieżność wyników, co stanowi ich wiarygodną weryfikację. Wartym podkreślenia jest fakt, że czas optymalizacji przy zastosowaniu autorskiego algorytmu PSO był trzykrotnie krótszy od czasu optymalizacji przy pomocy standardowego algorytmu GA oferowanego w środowisku MATLAB.

Przeprowadzone przez Autora badania rokują, że w przyszłości możliwe będzie wykorzystanie wyników symulacji do projektowania nowych linii elektroenergetycznych.

4. Ocena ogólna rozprawy

Mgr inż. Krzysztof Król w rozprawie doktorskiej zrealizował postawione cele w sposób kompleksowy, używając właściwej metodyki badań, przejrzyście przywołując źródła inspiracji i założenia proponowanych metod. Przeprowadzona analiza źródeł literaturowych przedmiotu, obszerność rozważań, duża liczba przeprowadzonych symulacji oraz ocena uzyskanych wyników stanowią niewątpliwie osiągnięcie Autora. Jego oryginalnym osiągnięciem jest wykazanie w przeprowadzonych badaniach symulacyjnych, że heurystyczne algorytmy optymalizacyjne pozwalają zredukować natężenia pola elektrycznego i magnetycznego wokół linii elektroenergetycznych wysokich i najwyższych napięć do poniżej wartości określonych przez obowiązujące rozporządzenie Ministra Środowiska. Przedstawiona rozprawa doktorska nie wyczerpuje w całości problematyki optymalizacji kształtowania pola elektromagnetycznego generowanego przez napowietrzne linie elektroenergetyczne. Autor, jak stwierdza w podsumowaniu rozprawy, widzi uzasadnioną potrzebę prowadzenia dalszych prac oraz wskazuje możliwe kierunki badań.

5. Uwagi szczegółowe, pytania

1. W pracy nie podano algorytmu wyznaczania rozkładu pól elektrycznych na rysunkach (np. Rys. 2.5, 2.6) w oparciu o wzór (12) dla modelu uproszczonego oraz na rysunkach(np. Rys. 2.13, 2.14, 2.16) w oparciu o wzór (27) dla modelu uwzględniającego zwis przewodów. Pole elektryczne trójfazowych linii przesyłowych jest polem wirującym. Jak więc określać rozkłady tych pól na wykresie. Jest to o tyle istotne, że jak podaje Autor miernik ESM-100 przy pomocy którego dokonano weryfikacji pomiarowej dokonuje pomiarów *niezależnie od jego kierunków.* Proszę o podanie uzasadnienia tej weryfikacji pomiarowej.
2. Dla modelu uproszczonego linii pola elektrycznego stosuje Autor tzw. promień zastępczy zamiast wiązki przewodów. Proszę o podanie ogólnej definicji takiego promienia.
3. Pole elektryczne linii przesyłowej najwyższych napięć jest polem harmonicznym. Jak formułować ogólne zadania do wyznaczania rozkładów tych pól zważywszy istnienie przesunięć fazowych pomiędzy poszczególnymi fazami przewodów.
4. Odnośnie wypadkowego natężenia pola magnetycznego linii przesyłowych podano wzór (38). Wzór ten nie może być bezpośrednio stosowany do badania rozkładów pola magnetycznego trójfazowych linii przesyłowych. Pole magnetyczne linii trójfazowych jest również polem wirującym. W każdym punkcie w obszarze linii wektor natężenia pola magnetycznego zakreśla w ciągu okresu elipsę. Jaki jest algorytm wyznaczania półosi dużej i małej tej elipsy. Rozkłady natężenia pola magnetycznego wyznaczone jako półosie duże tej elipsy mogą być weryfikowane pomiarowo przez miernik ESM-100. Proszę o komentarz w tym zakresie.
5. Optymalizację rozkładu natężenia pola elektrycznego i magnetycznego wokół napowietrznych linii przesyłowych sprowadza Doktorant do minimalizacji funkcji bez ograniczeń w postaci zmodyfikowanej funkcji kary. Minimum funkcji kary realizuje następnie przy pomocy algorytmów genetycznego GA oraz roju cząstek PSO w środowisku MATLAB. Wydaje się, że minimalizacja zmodyfikowanej funkcji kary z powodzeniem mogła być wykonana przy pomocy gradientu sprzężonego lub metodą zmiennej metryki (BFGS). Konstrukcja funkcji kary obejmuje funkcję celu zwracająca natężenie pola elektrycznego lub magnetycznego oraz ograniczenia równościowe i nierównościowe. W pracy brak jest zestawienia ograniczeń równościowych typu (49) oraz nierównościowych typu (50).
6. W zadaniach optymalizacyjnych wybrano 6 zmiennych decyzyjnych (str. 58) co daje niewielkie zadanie optymalizacyjne. Do rozwiązania takiego zadania można również zastosować metody bazujące na bezpośrednim wykorzystaniu warunków Karusha-Kuhna-Tackera (KKT). Algorytm bazujący na tych warunkach wraz z zastosowaniem specjalnych funkcji wygładzających dla aproksymacji warunków komplementarnych (tzw. metoda Non-Interior-Point, NIP) jest również w zestawie środowiska MATLAB. Proszę o komentarz Doktoranta.

6. Wniosek końcowy

Mgr inż. Krzysztof Król samodzielnie opracował zagadnienie naukowe i osiągnął wyniki o wartości poznawczej, przydatne w praktyce. Wykazał się rozległą wiedzą z elektrotechniki, metod obliczeniowych oraz umiejętnością wykorzystania technik komputerowych w pracy naukowej. Uwagi dotyczące pracy są uwagami odnoszącymi się do opisu oraz kwestiami dyskusyjnymi dotyczącymi możliwych sformułowań jak i przyjętych uproszczeń.

Rozprawa doktorska którą przedstawia mgr inż. Krzysztof Król spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim zgodnie z Rozporządzeniem 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 oraz Ustawą z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2017 r. poz. 1789). Wnoszę zatem o skierowanie rozprawy p.t. ***„Optymalizacja rozkładu natężenia pola elektrycznego i magnetycznego wokół napowietrznych linii elektroenergetycznych"*** do publicznej obrony.