

dr hab. inż. Jerzy Tchórzewski, prof. uczelni
Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach
Wydział Nauk Ścisłych i Przyrodniczych, Instytut Informatyki
08-110 Siedlce, ul. 3-Maja 54
Adres do korespondencji: 08-110 Siedlce, ul. Starowiejska 47a

Siedlce, 14.09.2021 r.

Dotyczy:

Umowa nr 41/07/PRR/2021 z dnia 16.07.2021 r.
na opracowanie recenzji

**Recenzja w przewodzie doktorskim dla Rady Dyscypliny Naukowej Automatyka,
Elektronika i Elektrotechnika Politechniki Wrocławskiej**

Tytuł rozprawy: **Obliczeniowa identyfikacja pól elektromagnetycznych w otoczeniu
obiektów elektroenergetycznych dla celów oceny narażenia ludności**

Autor rozprawy: **mgr inż. Jacek Gumiela**

Promotor: **prof. dr hab. inż. Zbigniew Wróblewski**

Promotor pomocniczy: **dr hab. Dariusz Szafrowski**

Miejsce wydania rozprawy: **Katedra Elektroenergetyki Politechniki Wrocławskiej,
Wrocław**

Rok wydania rozprawy: **2021 r.**

1. Oryginalność rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska, opracowana w formie maszynopisu książki, stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego wykonane przez p. mgr inż. Jacka Gumiełę w sposób merytorycznie poprawny i wyczerpujący, w której Doktorant wykazał, że został zrealizowany cel pracy sformułowany następująco:

„Zasadniczym celem ... było opracowanie modelu matematyczno-fizycznego przydatnego do obliczeniowej identyfikacji rozkładu natężenia składowej elektrycznej pola elektromagnetycznego oraz bazującej na tym modelu aplikacji komputerowej umożliwiającej dokonanie oszacowania wpływu urządzeń i linii elektroenergetycznych na środowisko”,

a tym samym udowodnił też tezę rozprawy sformułowaną następująco:

„Istnieje możliwość i konieczność opracowania uniwersalnego modelu matematyczno- fizycznego oraz stworzenia na jego podstawie środowiska symulacyjnego do analizy rozkładu odkształconych pól elektromagnetycznych generowanych przez złożone układy przesyłowo-rozdzielcze z uwzględnieniem wpływu elementów obcych otoczenia. Zastosowanie nowych algorytmów zaadaptowanych do specyfiki numerycznych obliczeń polowych może zapewnić poprawę dokładności i efektywności symulacji w porównaniu do obecnie istniejących rozwiązań”,

co wiązało się m.in. z wykonaniem następujących zadań naukowych:

- przeprowadzeniem analizy literatury przedmiotu i stanu badań w zakresie charakterystyki pól elektromagnetycznych w środowisku, w tym m.in. w zakresie: oddziaływania pól elektromagnetycznych na organizmy żywe, prowadzonych badań epidemiologicznych związanych z oddziaływaniem wolnozmiennych pól elektromagnetycznych na organizmy żywe, odnotowanych dotychczas skutków oddziaływania pól elektromagnetycznych na organizmy żywe, itp.,
- omówieniem pomiarowej identyfikacji wolnozmiennych pól elektromagnetycznych, a w szczególności aparatury pomiarowej i źródeł popełnianych błędów,
- zaproponowaniem metody obliczeniowej identyfikacji wolnozmiennych pól elektromagnetycznych, sprowadzonej do metody obliczeniowej identyfikacji natężenia pola elektromagnetycznego wraz z jej implementacją dla różnych rozwiązań modelowych,
- opisaniem aplikacji komputerowej *EMF Calculations* służącej do identyfikacji natężenia pola elektrycznego, w tym jej obsługi ze zwróceniem uwagi na specyfikę zmodyfikowanej metody różnicowej oraz na jej weryfikację dla kilku wybranych przypadków rzeczywistych linii elektromagnetycznych o różnym stopniu złożoności, porównaniem uzyskanych wyników symulacji rozkładu natężenia pola elektrycznego przeprowadzonych za pomocą dostępnych innych programów komputerowych takich jak: Electrician, EMF i Ansys wraz z analizą zapotrzebowania na zasoby mocy obliczeniowej,
- przeprowadzeniem dyskusji uzyskanych wyników analizy technicznych sposobów ograniczania natężenia pola elektrycznego w środowisku, w tym w zakresie wpływu budowy konstrukcji wsporczych na rozkład pola elektrycznego generowanego przez linie napowietrzne oraz w zakresie analizy komparatystycznej dostępnych sposobów ograniczania natężenia pola elektrycznego, przybliżając w ten sposób możliwości kształtowania wypadkowego pola elektrycznego generowanego przez napowietrzne linie elektroenergetyczne dzięki zastosowaniu nietypowej konstrukcji linii wysokiego napięcia, planowemu rozmieszczeniu przewodów lub zastosowaniu dodatkowych elementów w najbliższym otoczeniu.

Już na wstępie warto zauważyć, że tematyka rozprawy jest bardzo aktualna i praktycznie użyteczna w zakresie ułatwienia procesu wielokryterialnej optymalizacji planowanych inwestycji elektroenergetycznych, gdyż umożliwia przeprowadzenie wspomaganych komputerowo symulacji cyfrowych, które w rozprawie dotyczyły **analizy rozkładu natężenia składowej elektrycznej pochodzącej od obiektów elektroenergetycznych**, co Autor uzasadnił osiąganiem przez tę składową, dla rzeczywistych przypadków elektroenergetycznej infrastruktury przesyłowej, wartości ponadnormatywnych w przeciwieństwie do składowej magnetycznej pola elektromagnetycznego. Ponadto warto już w tym miejscu odnotować, że Doktorant w tezie rozprawy wskazuje, że zastosowanie nowych algorytmów do analizy rozkładu odkształconych pól elektromagnetycznych generowanych przez złożone układy przesyłowo-rozdzielcze z uwzględnieniem wpływu elementów obcych otoczenia **może zapewnić poprawę dokładności i efektywności symulacji w odniesieniu do obecnie stosowanych rozwiązań**.

2. Tło badań w zakresie pól elektromagnetycznych w środowisku

Autor dokonał wystarczającego rozpoznania stanu literatury przedmiotu w zakresie charakterystyki pól elektromagnetycznych w środowisku, w tym w zakresie specyfiki pola

elektromagnetycznego, jego źródła i sposobu oddziaływania, zwracając uwagę m.in. na zależną od częstotliwości sieciowych (kilkudziesięciu herców) odmienną właściwość pola elektromagnetycznego towarzyszącego pracy linii oraz właściwość pracy urządzeń elektroenergetycznych oraz sposób i intensywność jego oddziaływania na otaczające obiekty materialne ze szczególnym uwzględnieniem struktur biologicznych.

Zasadnie wskazał na możliwość poddawania oddzielnej analizie obu składowych natężenia pola elektromagnetycznego, to jest składowej elektrycznej [V/m] oraz składowej magnetycznej [A/m], jako pól występujących zawsze wspólnie i do siebie wzajemnie prostopadłych w stosunku do kierunku rozchodzenia się fali. Podkreślił m.in., że w polach elektromagnetycznych o wysokich częstotliwościach, tzw. mikrofalowych (300 MHz – 300 GHz) wewnątrz komórek może pojawić się termiczny efekt oddziaływania.

Odnotował też, że wraz ze wzrostem częstotliwości pola elektromagnetyczne zaczynają ujawniać swoje własności falowe, jak też fakt wpływu zewnętrznego pola elektromagnetycznego na procesy zachodzące wewnątrz organizmów żywych i pojawianie się takich procesów jak m.in.: magnetyzacji, oddziaływania na molekuly diamagnetyczne, oddziaływanie na struktury ciekłokrystaliczne, interakcje z wodą i elektrolitami zawartymi wewnątrz komórek żywych, itp. Słusznie zwrócił też uwagę na wpływ pola elektromagnetycznego, o dużych wartościach natężenia, na wrażenia zmysłowe, takie jak elektrofosfory oraz magnetofosfory.

We właściwy sposób pokazał m.in., że źródłem pola elektromagnetycznego o częstotliwości 50 Hz są sieci elektroenergetyczne położone na całym obszarze Polski, w tym często w pobliżu skupisk ludzkich, a zwłaszcza elektroenergetyczne sieci przesyłowe najwyższych napięć o łącznej długości 15 316 km, według stanu na 31 grudnia 2020 r., złożone z 281 linii o napięciu 220 kV oraz 400 kV oraz podmorskiego połączenia 450 kV.

W zakresie badań epidemiologicznych p. mgr inż. Jacek Gumieła w obszernym przeglądzie literatury przedmiotu umiejętnie i w sposób syntetyczny wykazał m.in., że w okresie ostatnich 40 lat pojawiło się kilkaset oryginalnych badań epidemiologicznych poświęconych ryzyku zachorowania na nowotwory u osób poddanych ekspozycji w polach elektromagnetycznych o częstotliwości 50-60 Hz, przy czym nie dały one jednoznacznych wyników, ale w 40% przypadków wykazano takie zachorowania u ludzi. **Przegląd literatury jest przy tym bardzo rzeczowy i kompetentny, niemniej brak jest badań porównawczych prowadzonych na podobnych lub zbliżonych obiektach**, przy czym Autor zwrócił uwagę m.in. na pozytywny wpływ pól elektromagnetycznych w leczeniu szeregu zespołów chorobowych, w tym m.in. chorób narządu ruchu.

3. Istota pomiarowej identyfikacji wolnozmiennych pól elektromagnetycznych

Doktorant w sposób wystarczający omówił konstrukcję i parametry techniczne przyrządu pomiarowego MASHEK ESM-100, umożliwiającego pomiar natężenia składowej elektrycznej pola elektromagnetycznego (od 0.1 V/m do 100 kV/m) oraz składowej indukcji magnetycznej pola elektromagnetycznego (od 1 nT do 20 mT) w trzech osiach jednocześnie w zakresie częstotliwości od 5 Hz do 400 kHz z sześciokanałową analizą widma. Ww. przyrząd pomiarowy Autor rozprawy wykorzystał do wykonania pomiarów na wysokości 2 m wzdłuż linii prostej w odstępach 1 m od siebie, które następnie wykorzystał do weryfikacji zaproponowanego modelu matematyczno-fizycznego i aplikacji komputerowej EMF Calculations, przy czym Doktorant podczas wykonywania pomiarów zdawał sobie sprawę z możliwych źródeł popełniania błędów, takich jak błędy wymiarów geometrycznych, stąd na podkreślenie zasługuje fakt, iż pomiary wykonywane były w klauzurze jak największej

staranności i dokładności. Taka staranność została podparta także m.in. szczegółową analizą wielkości charakteryzujących kształt przewodu w przeszłe linii.

Pan mgr inż. Jacek Gumiela słusznie zwrócił szczególną uwagę m.in. na określenie maksymalnej wartości natężenia pola elektrycznego na wysokości 2 m oraz w odstępnie 1.6 m od ścian niektórych obiektów takich jak tarasy, balkonów, podestów, itp. jak też na ustalenie granic terenu, w którym natężenie pola elektrycznego przekracza wartość 1 kV/m, a mniejszą na minimalną wartość natężenia pola elektrycznego.

4. Obliczeniowa metoda identyfikacji wolnozmiennych pól elektromagnetycznych

Pan mgr inż. J. Gumiela wśród metod obliczeniowej identyfikacji natężenia pola elektromagnetycznego stosowanych w praktyce **wyróżnił sześć metod zaliczanych do grupy metod analitycznych oraz osiem metod zaliczanych do grupy metod numerycznych**, z których większość nie ogranicza się jedynie do analizy pola elektromagnetycznego, ale także do innych zagadnień tego typu jak m.in. do analizy przepływów, transmisji ciepła, czy nawet do analizy w akustyce. Wskazał przy tym na pilną potrzebę opracowania nowych metod w zakresie identyfikacji zagadnień polowych.

Wystarczająco dokładnie umówił dalej podstawy matematyczne i podstawy fizyczne wykorzystywane przy budowie modeli obliczeniowych fizyczno-matematycznych stosowanych w opisie pola elektrostatycznego, pola magnetostatycznego oraz pola elektromagnetycznego. Szczególną uwagę zwrócił w tym zakresie m.in. na omówienie warunków brzegowych, równania falowe oraz na metodę zmiennych potencjałów i pola harmoniczne. Klasyfikując problemy elektromagnetyzmu zauważył m.in., że dobór właściwej metody do analizy problemu badawczego należy poprzedzić współcześnie jego identyfikacją ze względu **na trzy zasadnicze elementy: region rozwiązania problemu, typ równania zastosowany do opisu problemu oraz warunki brzegowe** (Dirichleta, Neumana oraz mieszane).

Doktorant zaprojektował i zaimplementował metodę obliczeniową opartą na metodą różnic skończonych, która jest jedną z najskuteczniejszych metod numerycznych wykorzystywanych w obliczeniach opisanych za pomocą cząstkowych równań różniczkowych.

Autor wykazał, że w przypadku takich badań rzeczywistych, jak przeprowadzone przez niego w polu elektrycznym, nie istniała możliwość zakwalifikowania rozwiązywanego zagadnienia do jednej ze znanych i nadających się do badań metod analitycznych, to jest takich, które wiążą się ze zbudowaniem układu równań różniczkowych wraz z otrzymaniem ich jednoznacznego rozwiązania. W tym zakresie przytoczył pięć takich sytuacji, to jest wtedy, gdy równania są nieliniowe, występuje skomplikowana geometria regionu, występują warunki brzegowe różnych typów, warunki brzegowe są zależne od czasu, środowisko jest niejednorodne lub anizotropowe.

Z ww. względów zdecydował się na wykorzystanie metody różnic skończonych jako jednej z metod numerycznych przeznaczonych do rozwiązywania problemów opisanych za pomocą cząstkowych równań różniczkowych, **jednakże podkreślił m.in., że odczuwa się w tym względzie brak wyczerpujących wyników analizy w zakresie doboru metody numerycznej celem wykorzystania jej w obliczeniowej identyfikacji pól elektromagnetycznych w otoczeniu obiektów elektroenergetycznych dla celów oceny narażenia ludności, przy czym wskazał, na tle innych metod numerycznych, metodę różnic skończonych jako najbardziej adekwatną do wykorzystania w projektowanym modelowaniu.**

W tym względzie Autor dokonał zwięzłego przeglądu metod obliczeniowej identyfikacji natężenia pola elektromagnetycznego (p. 4.1 pracy) wraz z opisem praw pola elektrostatycznego oraz praw pola magnetostatycznego, jak też przemiennej pola elektromagnetycznego, zwracając przy tym szczególną uwagę na komplet równań (4.20)-(4.22) – str. 53-54 rozprawy, które stanowią podstawę do opisu pól elektromagnetycznych w dowolnym punkcie przestrzeni. Pokazał też, że z prawami Maxwella związane są ponadto prawo Lorentza oraz prawo zachowania (niezniszczalności) ładunku, na podstawie których wyznacza się siły elektromagnetyczne związane z występującymi w układzie prądami elektrycznymi oraz wartości tych prądów. Omówił też warunki brzegowe opisując je z wykorzystaniem równań Maxwella i równania falowego jako równania różniczkowego drugiego rzędu.

Zauważył ponadto, że **choć wartości natężenia pola elektrycznego oraz natężenia pola magnetycznego łatwo są wyznaczane na drodze eksperymentalnej to w metodach obliczeniowych wygodniej jest operować takimi wielkościami jak potencjał elektryczny lub potencjał magnetyczny**. Doktorant zasadnie zauważył, że metoda różnic skończonych może zostać wykorzystana do zagadnień polowych, gdyż polega na zamianie równań różniczkowych opisujących analizowany problem na równania różnicowe stanowiące ich aproksymację, co prowadzi do uzyskania różnic skończonych w postaci algebraicznej opisującej wartość poszukiwanej funkcji w każdym punkcie należącym do regionu rozwiązania, przy czym wartość funkcji w każdym punkcie siatki jest uzależniona od wartości tej funkcji w punktach sąsiednich. Zwrócił też uwagę na to, iż wygodne jest przy tym podzielenie rozwiązania metodą różnic skończonych na trzy zasadnicze etapy, to jest: **podział regionu na siatkę węzłów, przeprowadzenie aproksymacji równania różniczkowego odpowiednimi różnicami skończonymi oraz dokonanie rozwiązania zagadnienia z wykorzystaniem warunków brzegowych i ewentualne warunków początkowych**.

Autor omówił w sposób wyczerpujący klasyczną metodę różnicową, metodę różnicową dla parabolicznych cząstkowych równań różniczkowych, metodę różnicową dla hiperbolicznych cząstkowych równań różniczkowych, metodę różnicową dla eliptycznych cząstkowych równań różniczkowych oraz zaproponowaną **autorską zmodyfikowaną metodę różnicową, która ze względu na możliwość lokalnego zagęszczenia siatki pozwala na zwiększenie dokładności obliczeń oraz pozwala na bardziej precyzyjne odwzorowanie obiektów naniesionych na siatkę niż zwykła metoda różnicowa**. W tym zakresie zmodyfikowana metoda łączy zalety metody różnicowej oraz metody elementów skończonych i tym samym pozwala na przeprowadzenie obliczeniowej identyfikacji rozkładu pola nie tylko dla przypadków o skomplikowanej strukturze geometrycznej lub elektrycznej, ale także znajdujących się w bezpośredniej bliskości przewodów o wysokim potencjale względem ziemi, gdzie zmienność funkcji potencjału oraz natężenie pola elektrycznego są największe.

Pan mgr Jacek Gumieła wykorzystał w swoich badaniach wprowadzoną w aplikacji EMF Calculations możliwość przeprowadzania symulacji cyfrowych nie tylko dla linii napowietrznych z pojedynczymi przewodami fazowymi, ale także z przewodami wiązkowymi. Pokazał też, że zmodyfikowana metoda różnicowa pozwala na zagęszczanie węzłów, stąd można ją wykorzystywać w sytuacji skomplikowanej geometrii analizowanych obiektów lub na obszarach, na których występuje duża zmienność poszukiwanej funkcji potencjału elektrycznego.

5. Aplikacja komputerowa służąca do identyfikacji natężenia pola elektrycznego

Doktorant w swoich badaniach analitycznych wykorzystał zaprojektowaną i zaimplementowaną na tego rodzaju obliczenia aplikację komputerową EMF Calculations, to

jest na potrzeby **przeprowadzenia identyfikacji natężenia składowej elektrycznej pola elektromagnetycznego dla dowolnie złożonych przypadków konstrukcyjnych**, gdyż jak słusznie zauważył, istniejące na rynku oprogramowanie wspomagające obliczenia połowe jest zbyt drogie oraz nie jest wyspecjalizowane na prowadzenie tego typu identyfikacji natężenia pola elektrycznego, gdzie w regionie rozwiązania występują nietypowe obiekty takie jak budynki, drzewa czy ogrodzenia.

Przyjmując tego typu uwagi za zasadne odczuwa się pewien niedosyt w zakresie braku w rozprawie szerszych wyników badań porównawczych przeglądu dostępnego na rynku oprogramowania wykorzystywanego w tym celu, jak też w zakresie stosowanych metod przeprowadzania identyfikacji natężenia pola elektrycznego.

Ponadto wydaje się, że opis obsługi aplikacji EMF Calculations w j. Java niepotrzebnie został włączony do zasadniczego tekstu rozprawy, zamiast do załączników rozprawy, co niepotrzebnie wytrąca czytelnika z zasadniczego nurtu rozprawy.

Niemniej bez względu na miejsce opisu aplikacji wzmacnia ona bardzo duży wkład merytoryczny Doktoranta w opracowanie narzędzia wykorzystywanego w obliczeniowej identyfikacji natężenia pola elektrycznego.

Weryfikacja wyników symulacji cyfrowych natężenia pola elektrycznego (wyników obliczeniowej identyfikacji) wynikami pomiarowej identyfikacji rozkładu pola elektrycznego została przeprowadzona w 10 eksperymentach dotyczących badania rozkładu pola elektrycznego generowanego przez różne linie napowietrzne, to jest:

- jednorodną linię 110 kV zlokalizowaną w miejscowości Ścinawa na przewodach zamocowanych na przelotowych konstrukcjach wsporczych typu B2, w zasięgu której umieszczono grunty orne oraz oddalone o 35 m od linii krzewy i niewysokie drzewa,
- jednorodną linię 110 kV zlokalizowaną w miejscowości Michałów na przewodach zamocowanych na przelotowych konstrukcjach wsporczych typu B2 (z tzw. przeplotem), w zasięgu której znajdowała się wysoka trawa oraz umieszczono po obu stronach drzewa w odległości 8 m od osi linii,
- dwutorową linię 110 kV zlokalizowaną w miejscowości Ścinawa na przewodach zamocowanych na przelotowych konstrukcjach wsporczych typu O24, w zasięgu której po obu stronach znajdowały się wysokie drzewa,
- dwutorową linię 220 kV zlokalizowaną w miejscowości Dryżyna na przewodach zamocowanych na przelotowych konstrukcjach wsporczych typu M52, w zasięgu której znajdowały się zabudowania gospodarcze oddalone o 90 m od osi linii oraz w odległości 7 m od przekroju poprzecznego (w którym przeprowadzono badania) na słupach BSW przebiegała linia średniego napięcia 20 kV,
- dwutorową linię 220 kV zlokalizowaną w miejscowości Michałów na przewodach zamocowanych na przelotowych konstrukcjach wsporczych typu M52, która przebiegała w przecince leśnej o szerokości ok. 34 m,
- dwutorową linię 400 kV zlokalizowaną w miejscowości Rynarcice, której przewody w badanym przęśle zostały zamocowane na słupach typu E33P nad terenem rolnym przy obecności niewielkiej liczby drzew i krzewów oraz drogi wojewódzkiej nr 323,
- dwie jednorodne linie 400 kV zlokalizowane w miejscowości Ścinawa, których tory prądowe złożone były z podwójnej wiązki przewodów umocowanych na konstrukcjach kratowych typu Y52, pod którymi znajdowały się tereny uprawne, a w pobliżu jednej z nich znajdował się las,
- jednorodną linię 110 kV zbudowaną na typowych słupach przelotowych typu B2 oraz trzy linie 20 kV, z których dwie zbudowano na słupach w formie żerdzi typu ŻN-12 oraz jedną na słupach wirowanych wykonanych ze strunobetonu, zlokalizowane w przecince leśnej o szerokości ok. 50 m w miejscowości Rudna, .

- linię jednotorową 220 kV zbudowaną na konstrukcjach kratowych typu H52 oraz dwie jednotorowe linie 110 kV budowane na konstrukcjach kratowych typu przelotowego B2, zlokalizowane w otoczeniu zabudowy przemysłowej oraz wysokiej roślinności w miejscowości Polkowice,
- jednotorową linię 220 kV zbudowaną na słupach typu H52, dwutorową linię 2 x 220 kV zbudowaną na słupach typu M52, dwie jednotorowe linie 110 kV zbudowane na słupach przelotowych B2 oraz linię średniego napięcia 20 kV o poziomym układzie przewodów roboczych, zlokalizowane nad i w pobliżu garaży i drzew w miejscowości Polkowice.

Doktorant przeprowadził weryfikację uzyskanych wyników badań zestawiając uzyskane wyniki pomiarowe (wyniki identyfikacji pomiarowej) z wynikami identyfikacji obliczeniowej tak w sposób graficzny jak też tabelaryczny, uzyskując informację co do zgodności obu krzywych. Rozkłady pola posiadały przy tym różne lokalizacje maksymalnej i minimalnej wartości natężenia pola elektrycznego, która została zidentyfikowana na poziomie 2 m nad poziomem gruntu, przy czym niezależnie od skomplikowania geometrycznego zbadanych eksperymentów pomiarowych, jak też stopnia złożoności rozpatrywanych układów linii elektroenergetycznych, Autor uzyskiwał na ogół wyraźne podobieństwo przebiegów kształtu i wartości punktów charakterystycznych rozkładu pola elektrycznego wyznaczanego tak w identyfikacji pomiarowej jak też w identyfikacji obliczeniowej.

Autor co prawda wystarczająco szczegółowo podsumował wyniki badań w każdym odrębnie przypadku przebiegu układów linii elektroenergetycznych, wskazując na wzajemne relacje pomiędzy wynikami uzyskanymi w identyfikacji obliczeniowej oraz uzyskiwanymi w identyfikacji pomiarowej, to jednak odczuwa się pewien niedosyt badań porównawczych wyników badań w zakresie rozkładu natężenia pola elektrycznego dla takich samych lub podobnych układów linii uzyskanych dla różnych warunków polowych, a więc tak, aby w zasięgu ww. linii znalazły się w różnym rozmieszczeniu drzewa, krzewy czy budynki gospodarcze, w tym garaże, a nawet inne linie napowietrzne i odwrotnie pod różnymi układami linii elektroenergetycznych te same obce objekty.

Pewnym usprawiedliwieniem ww. braków są wyniki badań porównawczych uzyskanego modelu matematyczno-fizycznego w zakresie badania rozkładu pola elektrycznego generowanego przez napowietrzną linię elektroenergetyczną w aplikacji MF Calculation, którą p. Jacek Gumiela przeprowadził w odniesieniu takich aplikacji jak EMFields, Electrician oraz ANSYS dla dwóch wariantów, to jest gdy w zasięgu linii nie znajdowały się żadne inne objekty obce oraz gdy znajdowało się np. drzewo oddalone o 35 m od osi linii.

Doktorant zbadał dwie sytuacje, a mianowicie rozkład pola elektrycznego generowanego przez linię 110 kV zbudowaną na kratowych konstrukcjach wsporczych B2 typu przelotowego oraz przez dwutorową linię 110 kV zbudowaną na słupach kratowych O24. W podobny sposób Doktorant zbadał także rozkład pola elektrycznego dla linii 220 kV, zbudowanej w oparciu o słupy typu H52 oraz dla linii 400 kV, zbudowanej w oparciu o konstrukcje wsporcze typu Y52.

Uzyskane wyniki badań obliczeniowej identyfikacji rozkładu pola elektrycznego uzyskane przy wykorzystaniu ww. czterech aplikacji, a więc EMFields, Electrician, ANSYS oraz EMF Calculations p. mgr inż. J. Gumiela przedstawił w postaci zestawień tabelarycznych. Z przedstawionych ww. porównań Autor w sposób jednoznaczny wykazał m.in., że zaproponowana przez niego pomiarowa metoda obliczeniowa natężenia pola elektrycznego, oprogramowana w środowisku obliczeniowym EMF Calculations dostarcza wystarczająco dokładnych wyników badań wypadkowego rozkładu pola elektrycznego pod liniami, w obszarze których znajdują się różne inne objekty. Na uwagę zasługuje fakt, iż zaproponowana metoda i oparta na niej aplikacja identyfikacji pola elektrycznego wskazują w sposób bardzo dokładny lokalne maksyma natężenia pola elektrycznego, które różnią się od wartości pomiarowych od kilku do kilkunastu %. Co prawda, jak Autor sam zauważa, nie



dotyczy to wartości występujących w minimach, w których różnice są nawet rzędu kilkudziesięciu %, ale – jak sam zauważa - z punktu widzenia narażenia na pole elektryczne minima odgrywają zdecydowanie mniejszą rolę niż wartości maksymalne, a często ich wartości nie mają w ogóle istotnego znaczenia.

Na podkreślenie zasługuje ponadto przeprowadzona wystarczająco dokładna analiza zapotrzebowania na zasoby mocy obliczeniowej przez środowisko obliczeniowe EMF Calculations, która uzależniona jest przede wszystkim tak od sposobu obliczania tzw. centralnej różnicy funkcji, w tym od liczby przyjmowanych wyrazów rozwinięcia szeregu Taylora, jak też w konsekwencji liczby punktów siatki (Autor przyjął m.in. siatkę węzłów w liczbie 500 tys. rozmieszczonych na siatce w regularnych odstępach co 5 cm), na podstawie których wyznaczał wartość poszukiwanej funkcji. Doktorant wykazał w tym zakresie m.in., że wraz ze zwiększaniem rzędu metody i liczby iteracji maleją zarówno błąd bezwzględny, jak też błąd względny, co z oczywistych względów wiązało się ze wzrostem czasu trwania obliczeń (od 38 s aż do 31 264 s., to jest 8 h 41 min 4 s), przy czym wyniki pokazały m.in., że poprzez zastosowanie metody różnicowej wyższego rzędu uzyskuje się lepszą zbieżność funkcji potencjału elektrycznego, stąd dla założonej dokładności można uzyskać rozwiązanie po mniejszej liczbie iteracji.

Pan mgr inż. Jacek Gumiela uzupełnił swoje badania wynikami przeprowadzonej analizy technicznej sposobów ograniczenia natężenia pola elektrycznego w środowisku, zwracając zwłaszcza uwagę na wartość maksymalną oraz na rozkład pola, na które w istotnym stopniu wpływają m.in.:

- napięcie robocze linii, które na ogół wiąże się z koniecznością zwiększania wysokości zawieszenia przewodów,
- odległość przewodów fazowych od ziemi, co wiąże się z poszukiwaniem sposobów na zbliżanie torów prądowych linii elektromagnetycznej do siebie (tworzenie linii kompaktowych),
- odstęp między przewodami różnych faz lub pomiędzy wiązkami przewodów,
- geometryczny układ przewodów fazowych, czy też ich wzajemne usytuowanie, a nawet ich średnica, itp.

6. Doktorant wykazał się wystarczającą wiedzą w zakresie możliwości opracowania modelu matematyczno-fizycznego do wyznaczania rozkładu natężenia pola elektrycznego i tym samym opracował metodę obliczeniowej identyfikacji rozkładu natężenia składowej elektrycznej pola elektromagnetycznego. Następnie z wykorzystaniem tej metody zaprojektował i zaimplementował środowisko obliczeniowe EMF Calculation (aplikację komputerową) umożliwiające dokonanie oszacowania wpływu urządzeń i linii elektroenergetycznych oraz znajdujących się różnych obiektów obcych w polu elektrycznym na środowisko i tym samym udowodnił tezę pracy oraz zrealizował cel rozprawy.

Dorobek publikacyjny Doktoranta obejmuje 39 prac ogółem¹ zarejestrowanych w bazie DONA Politechniki Wrocławskiej (wszystkie publicznie są dostępne), których był autorem lub współautorem, z tego: artykuły naukowe - 20, rozdziały książek - 1, patenty – 4, materiały konferencyjne – 14, przy czym jedna praca indeksowana w bazie Web of Sciences Core Collection, 10 prac punktowanych na liście filadelfijskiej, 20 prac punktowanych na liście

¹ Wykazanych w bazie DONA (Centrum Wiedzy i Informacji Naukowo-Technicznej Politechniki Wrocławskiej) – dostęp w dniu 05.09.2021 r.

MNiSW/MEN. Ww. publikacje naukowe dotyczą obliczeniowej i pomiarowej identyfikacji wolnozmiennych pól elektromagnetycznych.

Pracę naukowo-badawczą Doktorat prowadzi w Zespole Elektroenergetyki Przemysłowej Politechniki Wrocławskiej, przy czym współpracuje ponadto z akredytowanym Laboratorium Badań Bioelektromagnetyzmu.

7. Przedstawiony mi do recenzji tekst rozprawy nosi charakter samodzielnej monografii naukowej, która dotyczy obliczeniowej identyfikacji pól elektromagnetycznych, głównie elektrycznych, w otoczeniu których znajdują się różne obiekty. Została napisana w sposób poprawny merytorycznie i bardzo czytelny. Została uzupełniona o rozwiązania aplikacyjne w zakresie wyznaczania wypadkowego natężenia pola elektrycznego generowanego przez dowolne obiekty elektroenergetyczne, w polu których znajdują się inne obiekty typu: budynki, drzewa i krzewy, bariery o różnym kształcie, itp. Zauważone niedociągnięcia rozprawy mają charakter marginalny, stąd pragnę podkreślić, że rozprawa zasługuje na wysoką ocenę. Rozprawa została napisana na 207 stronach kart formatu A4 zapisanych jednostronnie o strukturze 8 rozdziałów z podrozdziałami, w tym wstępu z celem, zakresem i tezą rozprawy, podsumowania rezultatów pracy oraz wniosków końcowych. Praca zawiera ponadto 89 pozycji bibliografii oraz 10 załączników.

Na rozdziały merytoryczne ponumerowane (a w nich podrozdziały) składają się kolejno:

- Rozdział 1. Wstęp,
- Rozdział 2. Charakterystyka pól elektromagnetycznych w środowisku,
- Rozdział 3. Pomiarowa identyfikacja wolnozmiennych pól elektromagnetycznych,
- Rozdział 4. Obliczeniowa identyfikacja wolnozmiennych pól elektromagnetycznych,
- Rozdział 5. Aplikacja komputerowa służąca do identyfikacji natężenia pola elektrycznego,
- Rozdział 6. Analiza technicznych sposobów ograniczania natężenia pola elektrycznego w środowisku,
- Rozdział 7. Podsumowanie rezultatów pracy,
- Rozdział 8. Wnioski końcowe.

Ponadto rozprawa zawiera: stronę tytułową oraz spis treści. Do literatury przedmiotu stosowano poprawne odwołania w tekście, przy wystraczającym ich omówieniu w rozprawie. Praca została zilustrowana licznymi rysunkami oraz tabelami, a wzory zostały ponumerowane – odrębnie w poszczególnych rozdziałach, przy czym przy studiowaniu rozprawy odczuwa się brak odpowiednich wykazów rysunków i tabel, jak też wykazu oznaczenia zmiennych, skrótów, symboli, itp.

8. Omawiając obliczeniową identyfikację wolnozmiennych pól elektromagnetycznych Doktorant dokonał najpierw bardzo praktycznego przeglądu metod analitycznych oraz metod numerycznych zwłaszcza z punktu widzenia ich wykorzystania do zagadnień o skomplikowanej geometrii, czy też o złożonym rozkładzie ładunku elektrycznego w środowiskach niejednorodnych, nieliniowych lub anizotropowych. Dalej słusznie zwrócił uwagę na fakt, iż w metodach obliczeniowych wygodnie jest często operować pomocniczymi wielkościami takimi jak potencjał elektryczny lub potencjał magnetyczny niż wartościami natężenia pola elektrycznego oraz natężenia pola magnetycznego.

9. Uwagi końcowe

Pan mgr inż. Jacek Gumiela rozwiązał sformułowane zagadnienie. Wykazał m.in., że ze względu na brak na polskim rynku nowoczesnego oraz wyspecjalizowanego oprogramowania

służącego do obliczeniowej identyfikacji natężenia pola elektrycznego w złożonych obiektach (o wielu elementach źródłowych i o różnych poziomach napięć), w polu których umieszczone są inne obiekty spoza infrastruktury elektroenergetycznej, występuje zapotrzebowanie na świadome kształtowanie rozkładu natężenia pola na drodze umieszczania dedykowanych elementów w ich otoczeniu.

Rozprawa posiada zarówno charakter teoretyczny, w zakresie opracowanego modelu matematyczno-fizycznego opartego na zmodyfikowanej metodzie różnicowej drugiego i czwartego rzędu pozwalającego na analizę rozkładu pola elektrycznego, jak też praktyczny w zakresie zaprojektowania, implementacji i wykorzystania aplikacji komputerowej do identyfikacji natężenia pola elektrycznego rzeczywistych linii elektroenergetycznych, z wyposażeniem aplikacji w wiele praktycznych rozwiązań tego typu jak m.in. katalogi słupów stosowanych powszechnie podczas budowy napowietrznych linii elektro-energetycznych.

Do wymiernych rozwiązań rozprawy można zaliczyć m.in.:

- opracowanie modelu matematyczno-fizycznego opartego na zmodyfikowanej metodzie różnicowej,
- zaprojektowanie i implementacja aplikacji pn. EMF Calculations do wspomagania procesu doboru odpowiednich środków ochrony przed nadmiernym polem elektrycznym w polu jego oddziaływania,
- przeprowadzenie weryfikacji funkcjonowania metody oraz aplikacji na praktycznych przykładach obliczeniowych,
- udowodnienia m.in., że efekt ograniczenia natężenia pola elektrycznego jest uzależniony od kształtu, wielkości oraz odległości obiektu znajdującego się w polu oddziaływania od elementów źródłowych,
- wskazania kierunków projektowania konstrukcji służących do ekranowania składowej elektrycznej pola elektromagnetycznego pochodzącej od czynnych układów linii elektroenergetycznych,
- opracowania polityki nasadzenia wysokiej roślinności przy granicy pasa technologicznego obiektu elektroenergetycznego w celu ograniczenia jego niekorzystnego oddziaływania na środowisko,
- opracowanie wytycznych w celu prowadzenia racjonalnej gospodarki gruntami w polu oddziaływania obiektów elektroenergetycznych.

Rozprawa jest zredagowana bardzo starannie, treść rozprawy jest wzbogacona graficznie za pomocą rysunków i tabel, a uzyskane wyniki przedstawione także w sposób przejrzysty w tabelach porównujących uzyskane wyniki badań. Autor podał w sposób przystępny i prawidłowy opisy oraz objaśnienia zmiennych, a także w sposób poprawny stosował odwołania do literatury przedmiotu w tekście rozprawy. Zachował przy tym odpowiednią proporcję pomiędzy częścią teoretyczną i praktyczną rozprawy. Ponadto Doktorant przeprowadził interpretację i dyskusję uzyskanych wyników badań w sposób bardzo syntetyczny, brak jest natomiast bardziej szczegółowej dyskusji oraz bardziej szczegółowej interpretacji uzyskanych wyników badań.

Recenzowana praca zawiera wyniki badań uzyskane na wysokim poziomie badań praktycznych, które umiejętnie zostały poprzedzone analizą teoretyczną istniejących metod i modeli. Natomiast Autor nie wskazał w sposób jednoznaczny w jakim kierunku może być dalej rozwijany zarówno model matematyczno-fizyczny jak też aplikacja EMF Calculation.

W zakresie strony redakcyjnej praca zawiera pewne błędy natury technicznej, jak też tzw. przejęzyczenia, literówki, brak odwołania do źródła, itp., które generalnie rzecz ujmując nie są zbyt liczne i nie mają większego wpływu na jej czytelność, tego typu jak np.:

- występują przywołanie rysunków i tabel dopiero po ich wystąpieniu w tekście, jak np. do rys. 2.5 na str. 17, rys. 2.6 na str. 19, rys. 5.20 na str. 114, rys. 6.2 na str. 154, rys. 6.2 na str. 154, czy też do tabeli 5.7 na str. 125 oraz do tabeli 5.17 na str. 148-149. Ponadto na str. 128 (akapit 1, wiersz 6 od góry) jest odwołanie do rys. 5.4, a czy nie powinno być odwołania do rys. 5.36?
- na str. 134 (akapit 1, wiersz 3 od góry) błędnie został postawiony przecinek po słowie *że*, a powinien być postawiony przed nim,
- na str. 141 (akapit 1, wiersz 4 i 5 od góry) występuje przejęzyczenie, jest: *z wynikami uzyskanymi dzięki innym stosowanym w praktyce programom obliczeniowym, czy nie powinno być słowo innym?*
- zdarza się, że po wzorach brak jest przecinków, czy też kropek, jak np. po: wzorach (5.1) i (5.2) na str. 140, wzorze (6.1) na str. 152,
- w podpisie niektórych rysunków oraz w opisie niektórych tabel brak jest podania objaśnienia występujących zmiennych, symboli, skrótów, itp., co dotyczy m.in. rys. 5.33 na str. 126 – brak podanego źródła fotografii, rys. 5.35 na str. 127 oraz rys. 5.36 na str. 128 – brak podanego źródła prawdopodobnie PrintScreen-u wykresu z aplikacji EMF Calculations, itp.
- zdarzają się też uchybienia tego typu jak np.: brak kropki na str. 23 (po zakończeniu akapitu 3), czy też podwójna kropka na str. 156 w podpisie rys. 6.4,
- w wykazie literatury przedmiotu występują niejednakowe oznaczenia, jak np. raz stosuje się Vol. (np. poz. 27, 45, 49, itp.), a innym razem vol. (np. poz.: 10-19, 24, itp.), podobnie Nr. (poz. 6, 9, 81, 85, itp.) oraz nr. (poz.: 2-5, 7, 88, itp.).

Podsumowanie

W podsumowaniu jednoznacznie stwierdzam, że przedłożona mi do recenzji rozprawa doktorska p. mgr inż. Jacka Gumieli **stanowi autorskie rozwiązania zarówno w zakresie teoretycznym polegające na opracowaniu modelu matematyczno-fizycznego, jak też w zakresie praktycznym polegające na zaprojektowaniu, implementacji aplikacji EMF Calculations i jej weryfikacji do rozwiązania aktualnego i bardzo istotnego dla praktyki pomiarowej problemu pomiaru natężenia pola elektrycznego występującego w polu oddziaływania obiektów elektroenergetycznych.**

Uważam, że tak rozprawa jak też dorobek naukowy kandydata w dyscyplinie automatyka, elektronika i elektrotechnika w dziedzinie nauk inżyniersko-technicznych wnoszą istotny wkład w rozwój problematyki zastosowania obliczeniowej identyfikacji pól elektromagnetycznych w otoczeniu obiektów elektroenergetycznych dla celów oceny narażenia ludności, a także potwierdzają odpowiednio wysoką ogólną wiedzę teoretyczną i praktyczną Doktoranta oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Z pełnym przekonaniem stwierdzam, że dotychczasowe osiągnięcia naukowe mgr inż. Jacka Gumieli jako Kandydata, w tym jego rozprawa doktorska, spełniają wymagania stawiane przez ustawę z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki², co oceniam bardzo wysoko i wnioskuję o dopuszczenie rozprawy doktorskiej do publicznej obrony, prosząc o przedyskutowanie podczas obrony następujących dwóch kwestii:

² Dz. U. z 2016 r. poz. 882, ze zm.; Dz. U. z 2017 r. poz. 1789, t.j.

Kwestia 1. Wymiernym efektem rozprawy doktorskiej p. mgr inż. Jacka Gumiełki jest opracowanie modelu matematyczno-fizycznego opartego na zmodyfikowanej metodzie różnicowej drugiego i czwartego rzędu, pozwalającego na analizę rozkładu natężenia pola elektrycznego wraz z zaprojektowaniem i implementacją odpowiedniego środowiska obliczeniowego EMF Calculations, stąd proszę Doktoranta o:

- przeprowadzenie dyskusji opracowanej metody, ze szczególnym zwróceniem uwagi na kryteria, którymi kierował się wybierając do implementacji metodę różnicową drugiego i czwartego rzędu oraz czy i jeżeli tak to jakie istnieją możliwe kierunki rozwoju aplikacji opartej na zmodyfikowanej metodzie różnicowej wyższych rzędów?
- umiejscowienie uzyskanego modelu matematyczno-fizycznego wśród modeli dotychczas stosowanych w identyfikacji obliczeniowej natężenia pola elektrycznego oraz o umiejscowienie aplikacji EMF Calculation wśród dostępnego na rynku oprogramowania wykorzystywanego w tym celu, ze wskazaniem dokładności i efektywności obliczeń.

Kwestia 2. Jak można zauważyć Doktorant przeprowadził bardzo wiele ciekawych eksperymentów badawczych, których wyniki zamieścił na 13 rysunkach, przedstawiając w sposób graficzny rozkłady pola elektrycznego, uzyskane na podstawie wyników identyfikacji pomiarowej i wyników identyfikacji obliczeniowej, występującego pod liniami elektroenergetycznymi różnych napięć i dla różnych warunków występujących w polu elektrycznym oraz analogicznie zamieścił w 13 tabelach zestawienia wartości ekstremalnych rozkładu natężenia pola elektrycznego oraz wartości błędów podczas jego identyfikacji, co sprawia, że odczuwa się brak wystarczającej końcowej konstatacji otrzymanych wyników badań, stąd proszę Doktoranta **o przeprowadzenie końcowej dyskusji i interpretacji przeprowadzonych eksperymentów badawczych i otrzymanych wyników badań oraz o zaprezentowanie na obronie końcowego ich jednolitego zestawienia np. tabelarycznego lub opisowego, w tym z uwzględnieniem poprawy dokładności i efektywności symulacji w porównaniu do obecnie istniejących rozwiązań. W tym w szczególności proszę o omówienie dwóch przypadków szczególnych, a mianowicie np. w zakresie rozkładu natężenia pola elektrycznego uzyskanego zarówno w przypadku identyfikacji pomiarowej jak też identyfikacji obliczeniowej dla:**

- tych samych lub podobnych warunków badań występujących w polu elektrycznym dla różnych układów linii elektroenergetycznych,
- dla tego samego lub podobnego układu linii elektroenergetycznej dla różnych warunków występujących w polu elektrycznym.

Geny Telisnaski