

dr hab. inż. **Maciej Walkowiak**

prof. uczelni

Politechnika Bydgoska im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich w Bydgoszczy

Wydział Telekomunikacji, Informatyki i Elektrotechniki

Bydgoszcz, 20 października 2024 r.

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr inż. Magdaleny Budnarowskiej

*Symulacyjne badania numeryczne
wnikania impulsów elektromagnetycznych dużej mocy
do małej obudowy ekranującej z perforacją technologiczną
– skuteczność ekranowania wnętrza obudowy
przed impulsami elektromagnetycznymi*

Podstawą do przygotowania recenzji rozprawy Pani mgr. inż. Magdaleny Budnarowskiej jest pismo Pana dr. hab. inż. Piotra Jankowskiego, profesora UMG, Dziekana Wydziału Elektrycznego Uniwersytetu Morskiego w Gdyni z 11 października 2024 roku, informujące o uchwale Rady Naukowej Wydziału Elektrycznego Uniwersytetu Morskiego w Gdyni.

Praca doktorska Pani Magdaleny Budnarowskiej powstała pod naukowym kierunkiem promotora Pana prof. dr. hab. inż. Jerzego Mizeraczyka, przy współudziale Pana dr. inż. Ryszarda Studańskiego jako promotora pomocniczego.

Praca została przedstawiona Radzie Naukowej Wydziału Elektrycznego w trybie przewidzianym w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (Dz. U. 2018 poz. 1668 z późn. zm.). Rada Naukowa 10 października 2024 r. podjęła uchwałę nr 14/2024 powierzając mi wykonanie recenzji pracy doktorskiej przygotowanej w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznej w dyscyplinie *automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologia kosmiczne*.

1

Zgodność sporządzonej recenzji z zaleceniami Rady Doskonałości Naukowej

Rada Doskonałości Naukowej, na podstawie obowiązujących przepisów oraz prawomocnych orzeczeń sądowych wydał zalecenia dotyczące trybu oraz zawartości recenzji w postępowaniach o awans naukowy. W przypadku recenzji rozpraw doktorskich

wspomniane zalecenia sugerują, aby recenzje zawierały trzy elementy:

- 1) ocenę wraz z uzasadnieniem, iż rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną osoby ubiegającej się o nadanie stopnia doktora w określonej dyscyplinie;
- 2) ocenę wraz z uzasadnieniem, że rozprawa doktorska wykazuje umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej lub artystycznej przez osobę ubiegającą się o nadanie stopnia doktora oraz
- 3) ocenę wraz z uzasadnieniem, iż rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej lub społecznej albo oryginalne dokonanie artystyczne.

Jednocześnie Rada doskonałości Naukowej stwierdza, że brak jest podstaw, by recenzenci wyrażali w swych recenzjach opinie odnoszące się do innych kwestii niż te, które zostały przedstawione, a które to wynikają z przepisów ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce*. Co więcej, Rada sugeruje, iż opinia, która odnosi się do innych elementów niż wskazane, może budzić wątpliwości odnośnie do jej prawidłowości.

Biorąc powyższe pod uwagę ograniczę elementy oceniające tej recenzji do wymienionych.

Recenzję przygotowałem na podstawie rozprawy doktorskiej.

2

Ogólna charakterystyka i konstrukcja rozprawy

Treść rozprawy Magdaleny Budnarowskiej pt.: *Symulacyjne badania numeryczne wnikiwania impulsów elektromagnetycznych dużej mocy do małej obudowy ekranującej z perforacją technologiczną – skuteczność ekranowania wnętrza obudowy przed impulsami elektromagnetycznymi* jest sygnowana przez Uniwersytet Morski w Gdyni.

Tytuł pracy jest moim zdaniem zbyt obszerny; podobną treść można było zamknąć w krótszej nazwie.

Osobną sprawą jest obecność w tytule słowa ‘perforacja’, które to słowo pojawia się także kilka razy w treści pracy. Czytając to słowo spodziewamy się raczej większej liczby niewielkich otworów, tymczasem istotą badań symulacyjnych jest prostopadłościenny rezonator z poczną prostokątną szczeliną. Rozumiem, jednakże, że są to zaszłości związane z wcześniejszym sformułowaniem takiegoż tematu.

Praca liczy około 250 stron, które autorka podzieliła na 11 rozdziałów, uzupełnionych literaturą oraz spisem rysunków. Dodam już tutaj, że spis treści jest pozbawiony numerów stron, co pozbawia ów spis treści najważniejszej funkcjonalności.

Pracę poprzedza obszerne streszczenie z omówieniem zawartości kolejnych rozdziałów i podrozdziałów. Podobne – lecz dużo krótsze – streszczenie umieszczono w dalszej części pracy.

Pierwszy numerowany rozdział zawiera bardzo krótką klasyfikację organizowanych zaburzeń dużej mocy, w szczególności impulsowych. Autorka wprowadza też tutaj własne pojęcie globalnej skuteczności ekranowania. Dalej jest przedstawiony problem badawczy rozprawy oraz struktura tejże rozprawy.

Drugi rozdział w zamyśle autorki ma przedstawiać numeryczną metodę symulacyjną. W rzeczywistości jest to opis wykorzystywanego środowiska symulacyjnego (CST Studio Suit).

W kolejnym rozdziale jest opisana budowa obiektu badań symulacyjnych: prostopadłościenna obudowa wykonana z idealnego przewodnika z pojedynczym prostokątnym otworem w jednej z bocznych ścian. W teorii anten i teorii mikrofal struktura taka jest doskonale znana jako rezonator prostopadłościenny ze szczeliną. Szczeliny takie służą w rezonatorach do sprzężenia z prowadnicami falowymi. Są to struktury bardzo dobrze znane i wielokrotnie badane.

Czwarty rozdział opisuje parametry impulsu pobudzającego. Autorka rozsądnie wybrała tutaj impuls gaussowski. Motywacją takiego wyboru może być podobieństwo kształtów impulsu i widma tegoż impulsu.

Od rozdziału piątego rozpoczyna się opis badawczej części rozprawy, do której rozdział ten jest jakoby wstępem.

W obszernym szóstym rozdziale autorka przedstawia wyniki uzyskanych przez siebie symulacji. Całość materiału podzielono na cztery części. Najpierw pokazano dwu- i trójwymiarowe wizualizacje procesu wnikania i propagacji impulsu wewnątrz obudowy, przy pionowej polaryzacji pobudzenia. Następnie przedstawiono rozkłady ładunków elektrycznych, normalnej składowej pola elektrycznego, stycznej składowej natężenia pola magnetycznego oraz prądu powierzchniowego na wewnętrznych ścianach obudowy. Zakończenie rozdziału stanowi prezentacja modelu wnikania spolaryzowanego pionowo impulsu do wnętrza obudowy.

Siódmy rozdział ma czteroczęściową strukturę będącą powieleniem rozdziału poprzedniego, z tą jednakże różnicą, że teraz impuls pobudzający ma polaryzację poziomą.

Kolejny ósmy rozdział rozprawy jest próbą symulacji zachowania się obudowy oświetlonej impulsem o – jak to pisze autorka – „skręconej polaryzacji”. Zapewne chodzi o polaryzację skośną. Autorka uzyskała jakieś wyniki, które sklasyfikowała jako trudne do interpretacji i mało przydatne merytorycznie.

Rozdział dziewiąty jest poświęcony analizie skuteczności ekranowania przez obudowę z otworem. W tym bogatym w dane rozdziale najpierw przedstawiono wykresy zmian natężeń pól elektrycznego i magnetycznego w wybranych dwóch punktach wewnątrz obudowy. Potem porównano natężenie pól w wybranych punktach przy obecności obudowy i przy braku tej obudowy. Następnie wyznaczono zależności czasowe dla klasycznie definiowanej skuteczności ekranowania. W końcu przedstawiono autorską koncepcję nowej miary, a mianowicie „globalnej skuteczności ekranowania”.

Dziesiąty rozdział autorka wypełniła uwagami nad niemożnością potwierdzenia otrzymanych wyników, ograniczając się do stwierdzenia, że wyniki te nie są w sprzeczności z zasadami fizyki a w szczególności z prawami Maxwella (chyba lepiej mówić o równaniach Maxwella), choć dowodu na to nie przedstawiono.

Pracę kończy podsumowanie oraz raz jeszcze wyraźnie sformułowane wnioski. Po tym następuje spis źródeł oraz ilustracji.

3

Ocena teoretycznej wiedzy doktoranta w zakresie właściwej dyscyplinie wiedzy

Ocena wiedzy teoretycznej doktorantki w interesującej nas dyscyplinie jest właściwie niewykonalna. Ustawodawca – konstruując dyscyplinę *automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologia kosmiczne* – dodając ostatni człon *nomen omen* odleciał w kosmos. Chcąc jednakże dokonać oceny wiedzy doktorantki i wypełnić treścią łaciński przymiotnik *doctrissime*, sięgnę najpierw do dziedziny wiedzy, a więc do nauk inżynierjno-technicznych.

Podstawowymi pojęciami fizyki autorka posługuje się biegle, powołując się na takie pojęcia kilkakrotnie i trafnie. Oczywiście, mowa tutaj o pojęciach stowarzyszonych z rozpatrywanymi w pracy procesami i zjawiskami. Równie ważne od przywoływanych praw fizyki jest to, że prawa te są przywoływane poprawnie i nie popełniono tu żadnego błędu.

Trudniej jest ocenić mi stosowanie aparatu matematycznego, ponieważ w zasadzie w pracy równań i wyrażeń matematycznych nie ma. A przecież formalizm matematyczny jest istotą wszelkich matematycznych modeli procesów i zjawisk fizycznych. Bez modeli matematycznych bardzo łatwo o błędy, ponieważ rozprawianie o procesach elektromagnetycznych bez matematyki, to jazda bez nawigacji o zmierzchu. Autorka snuje wyjaśnienia i opisy wizualizowanych procesów i czasem aż się prosi, aby właściwym wyrażeniem matematycznym podkreślić czy spuentować malowany obraz.

Na szczęście, mam ocenić wiedzę teoretyczną autorki, a nie praktyczne tej wiedzy wykorzystanie. Tak więc, autorka zna podstawowe metody elektromagnetyzmu obliczeniowego; wspomina metodę elementów skończonych, metodę macierzy linii transmisyjnych czy metodę skończonych całkowań (tu błędnie nazywaną metodą integracji skończonych). Najbardziej znane metody (momentów oraz różnic kończonych) nie są, jednakże, wspomniane. Rozumiem, że jako metody spoza CST SS znalazły się poza obszarem zainteresowań.

Pojęcia i terminy z zakresu elektroniki, elektrotechniki i automatyki, jeśli są wykorzystywane, to są wykorzystywane poprawnie.

Mimo braku formalizmu matematycznego sądzę, że teoretyczna wiedza autorki w interesującej nas dyscyplinie jest spora.

4

Ocena umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej

Autorka do przedstawienia niezmiernie skomplikowanego procesu oddziaływania krótkiego impulsu elektromagnetycznego z metalową obudową z otworem wybrała środowisko symulacyjne CST Studio Suite. Wykorzystanie CST Studio – jak i podobnych elektromagnetycznych środowisk symulacyjnych – jest coraz częściej stosowanym sposobem, zastępującym tradycyjne ścieżki. Użyteczność takich środowisk wydaje się dla wielu oczywista, w szczególności z powodu spektakularnej grafiki, która wizualizuje analizowane procesy.

W tej graficzności, wykresowości i barwności autorka porusza się niezwykle swobodnie. Ba, czasem odnoszę wrażenie, że autorka utożsamia interpretowane obrazy z samym zjawiskiem.

Jednym z niedocenianych elementów prac naukowych jest język. Otóż rozprawa jest napisana ładnym językiem polskim. Mało jest w treści wyrażeń gwarowych. Zdania są rozbudowane i przemyślane. Akapity są jednolite treściowo. Treść rozdziałów i podrozdziałów jest zwarta tematycznie. Wszystko to wskazuje, że tekst powstawał w głowie autora, a nie sposobem „znajdź coś w sieci, lekko zmodyfikuj i wklej”.

Bardzo podoba mi się w ocenianej rozprawie fakt, że mamy do czynienia z rozprawą właśnie. Z rozprawą, a nie z technicznym raportem z badań. Autor rozprawia nad zagadnieniami. Często prowadzi myśl w kierunkach alternatywnych rozwiązań, często nadmienia coś o możliwych wersjach. Pokazuje to, że praca autora nie skończy się po napisaniu rozprawy, bo tyle jeszcze jest do sprawdzenia.

Niezwykle ważną kwestią w badaniach naukowych – a szczególnie badaniach aktu-

alnie szybko się toczących – jest znajomość źródeł, która to znajomość jest potwierdzeniem odczytania i wiedzy autora.

Doktorantka przytacza (nie licząc własnych) sześćdziesiąt źródeł, z których każda jest cytowana w pracy (choć do przytoczenia 15-tu pozycji za jednym zamachem można mieć wątpliwości). Znakomitą przewagę mają źródła pisane: artykuły, książki i doniesienia konferencyjne. Źródeł sieciowych jest bardzo mało. Tak więc, można na tej podstawie śmiało stwierdzić, że autor dokonał szerokiego przeglądu źródeł dobrze recenzowanych. Co więcej, wśród czasopism jest sporo sygnowanych przez IEEE, a więc bardzo dobrego pochodzenia.

Niestety, liczba tych źródeł jest, w moim odczuciu, niewielka. Oceniamy wszak rozprawę doktorską, dlatego nawet dwukrotnie większa liczba nie byłaby przesadnie dużą.

Można zawsze powiedzieć, że nie liczba się liczy, a jakość owych przytoczonych publikacji. I to prawda.

Niemniej, ważne jest także to, czego brakuje. A brakuje choć przykładów z całej sterty publikowanych prac w wydawnictwach stowarzyszeń IEEE: mikrofalowego i antenowego. W tych właśnie gazetach od kilkudziesięciu lat prezentowano prace nad badaniem pól EMG zmiennych w czasie, w szczególności pól impulsowych.

Brak choćby słynnej książki Leopolda Felsena (jako wydawcy zbioru) o przejściowych polach elektromagnetycznych. To Felsen wypromował podział czasu zjawisk przejściowych (*early time* oraz *late time*), który to podział doktorantka znajduje ponownie w obrazach pola w obudowie. To tam pierwszy raz głośno wprowadza się jednostkę metra świetlnego, niezwykle pomocną przy wizualizacji procesów przejściowych w polach EMG. Przy okazji, dwa lata temu, A. Witenberg zaproponowała istotną modyfikację tej jednostki.

Pamiętając o tej małej liczbie źródeł, ocenę tego aspektu działań doktorantki uważam za wystarczającą; tak, potrafi ona samodzielnie prowadzić badania naukowe, choć – rzecz jasna – warsztat naukowy powinna nadal wzbogacać.

5

Ocena oryginalności rozprawy

Od wielu już lat wiemy, że współczesna wojna w znacznej mierze będzie różnić się od już nam znanych z historii. Nowe technologie w zakresie broni promieniowanych są już nie tylko kanwą filmów sensacyjnych, ale wojskową rzeczywistością. Wojna nie musi oznaczać niszczenia ludzi i sprzętu. Może oznaczać elektromagnetyczne oślepienie przeciwnika poprzez zniszczenie jego systemów elektronicznych. Można to zrobić na przykład poprzez emisję impulsu radiowego o dużej mocy lub o dużym natężeniu.

Sytuacja jest nijako odwróceniem dobrych zasad kompatybilności elektromagnetycznej, które to zasady mają tym razem nie chronić, a zniszczyć sprzęt elektroniczny przeciwnika. Pomiary związane z EMC historycznie były najpierw przeprowadzane w komorach ekranujących, potem w komorach bezodbiciowych. W końcu praktyka skierowała badaczy na komory odbiciowe czyli rewerberacyjne. W komorach takich pole elektromagnetyczne ma charakter bliski charakterowi rzeczywiście istniejących środowisk elektromagnetycznych.

Pomiary w komorach rewerberacyjnych są kosztowne, a i samo zaplanowanie eksperymentu bywa skomplikowane. Pozostają metody obliczeniowe, które dziś często sprowadzają się do odpowiedniej obsługi wybranego środowiska elektromagnetycznego.

Żeby było jasne: nie uważam, że umiejętność korzystania z jakiegokolwiek środowiska obliczeniowego była osiągnięciem samym w sobie. Nic z tych rzeczy. Środowiska te bywają bardziej i mniej skomplikowane, dlatego osiągnięciem jest właściwe zaplanowanie eksperymentu w takim środowisku.

Uważam bowiem, że odpowiednie wykorzystanie środowiska obliczeniowego – tutaj CST SS – jest bliższe planowaniu eksperymentu. Przy planowaniu symulacji należy zrobić wszystko tak, jak gdyby planowano pomiary. Czyli zaplanować schemat stanowiska pomiarowego, przeprowadzić eksperyment, oszacować błędy i właściwie opisać rezultaty symulacji.

Większość z wymienionych etapów doktorantka zrealizowała poprawnie. Z wyjątkiem szacowania błędów.

Przy tak wielkiej liczbie danych prezentacja wyników i poprawna interpretacja tych wyników stanowią osiągnięcie samo w sobie. W wizualizacji zastosowano jednakową perspektywę oraz kolorystykę, co znacząco ułatwia analizę obrazów.

Interpretacja wyników przedstawiona przez doktorantkę przypomina nieco stosowaną dawniej metodę eksperymentów mentalnych. Były to doświadczenia przeprowadzane w głowie, wyobrażane a nie przeprowadzane w rzeczywistości.

Prowadzenie takich eksperymentów nie jest łatwe i wymaga sporej wiedzy o zjawiskach. Pozwala natomiast zrozumieć przebieg zjawisk bez formalizmu matematycznych modeli.

6

Dyskusyjne elementy rozprawy

Jak wspomniałem już wcześniej, przegląd źródeł jest jednostronny i nieco monotematyczny. Brak publikacji środowiska antenowego sprawił, że autorce umknęły istotne osiągnięcia uczonych zajmujących się tą tematyką, a związane z czasowym przebiegiem procesów elektromagnetycznych.

Brak formalizmu matematycznego sprawia, że moim zdaniem wyniki pozbawione są właściwego uwiarygodnienia. Stwierdzenia o zgodności wyników symulacji z równaniami Maxwella są dla mnie tylko stwierdzeniami.

Istotniejsze od braku formalnego opisu matematycznego wydaje mi się jednak brak opisu uwarunkowań numerycznych obliczeń. Nie znalazłem w pracy informacji o stosowanym sprzęcie komputerowym. Nie wiem więc, jakie były parametry tego sprzętu i w jakiej pracował konfiguracji. Nie podano także nastawień środowiska obliczeniowego.

Powyższe sprawia, że czytelnik nie ma możliwości powtórzenia symulacji, gdyż nie zna parametrów obliczeń. W efekcie nie ma więc możliwości sprawdzenia wyników przez powtórzenie procedury.

Błędem wydaje mi się przedstawienie na pierwszej serii grafik modułów natężeń pól zamiast samych natężeń. Pokazywanie modułów – wraz z fazami lub bez faz – ma sens przy wizualizacji procesów w dziedzinie częstotliwości. W dziedzinie czasu ograniczanie się do modułów prowadzi do oczywistego błędu. Wyobraźmy sobie jeden okres sinusoidy pokazany wzdłuż osi czasu. Otóż ta sinusoida w ciągu jednego okresu jest pojedynczą falą, mającą dwie amplitudy o fazach różnych znaków. Autorka, przedstawiając wykres modułu takiej sinusoidy, widziała by zapewne dwie kolejne fale, jeśli dobrze interpretuję przeczytane objaśnienia.

Przyjmuje się, że mówiąc o polu elektrycznym myślimy o natężeniu tego pola, jeśli natomiast mówimy o polu magnetycznym, to zwyczajowo myślimy o indukcji tego pola a nie o natężeniu. Tak więc, jeżeli mamy na myśli natężenie pola magnetycznego, to należy taką wielkość nazwać.

7

PODSUMOWANIE

Konkludując – uważam, iż recenzowana rozprawa doktorska jest oryginalną pracą badawczą. Opisując swoje symulacje, autorka wykazała się, dobrą znajomością wiedzy teoretycznej w reprezentowanej przez nią dyscyplinie, a także umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Doktorantka osiągnęła założone w pracy cele i wykazała potencjał prezentowanych badań.

Jestem przekonany, że praca spełnia ustawowe wymogi stawiane rozprawom doktorskim i wnoszę o dopuszczenie pracy do obrony.

