dr hab. inż. Mirosław Wołoszyn Gdańsk, 30.06.2022

Wydział Elektrotechniki i Automatyki
Politechnika Gdańska

**R E C E N Z J A**

**rozprawy doktorskiej mgra inż. Adama Ryszarda Żywicy**

**pt.: ”OBRAZOWANIE ROZKŁADU KONDUKTYWNOŚCI ELEKTRYCZNEJ OBIEKTÓW SŁABOPRZEWODZĄCYCH Z ZASTOSOWANIEM TOMOGRAFII MAGNETOAKUSTYCZNEJ
ZE WZBUDZENIEM INDUKCYJNYM”**

Recenzja rozprawy mgra inż. Adama Ryszarda Żywicy została opracowana na zlecenie Prorektora ds. nauki prof. dr. hab. inż. Jacka Przepiórskiego Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie, pismo WE/4120/646/2022.

1. **Ocena wyboru tematyki i zakresu rozprawy**

Rozprawa doktorska mgra inż. Adama Ryszarda Żywicy pt.: „Obrazowanie rozkładu konduktywności elektrycznej obiektów słaboprzewodzących z zastosowaniem tomografii magnetoakustycznej ze wzbudzeniem indukcyjnym”, zawiera 192 strony, składa się z 5 rozdziałów, podsumowania oraz zawiera pięć załączników W załącznikach doktorant zamieścił cztery współautorskie artykuły i jeden autorski. Bibliografia zawiera 283 pozycje wszystkie anglojęzyczne. Rozprawa dotyczy dyscypliny naukowej automatyka, elektronika i elektrotechnika.

Podjęta przez Doktoranta problematyka dotycząca obrazowania rozkładu konduktywności elektrycznej z zastosowaniem tomografii magnetoakustycznej jest ważna, aktualna i dotyczy badań interdyscyplinarnych powiązanych z badaniem tkanek biologicznych. Aktualność tej tematyki potwierdza duża liczba publikacji w renomowanych czasopismach. Tomografia MAT-MI ma duże szanse zastosowania w wykrywaniu wczesnych zmian nowotworowych w tkankach, a fakt stosowania niższych częstotliwości niż w innych metodach, sprawia, że metoda ta jest mniej inwazyjna i może być używana znacznie częściej.

Zakres prac przeprowadzonych w rozprawie dotyczy opracowania modeli analitycznych jedno, dwu i trójwarstwowych obiektów słaboprzewodzących oraz przeprowadzenia analizy numerycznej wpływu różnych parametrów impulsu wzbudzającego oraz niejednorodności elektrycznej i rozmiaru badanego obiektu na rekonstrukcję obrazu. Doktorant opracował modele numeryczne korzystając z oprogramowania COMSOL Multiphysics i MATLAB. Autor przeprowadził wnikliwą analizę porównawczą modeli analitycznych i numerycznych oraz przeprowadził badania eksperymentalne. Przyjęty przez Doktoranta w opiniowanej rozprawie doktorskiej zakres badań uważam za całkowicie prawidłowy i uzasadniony. Opiniowana rozprawa ma charakter pracy naukowo-badawczej.

1. **Treść i zakres rozprawy**

Autor rozprawy rozpoczął pracę od przedstawienia idei i zastosowania tomografii MAT-MI oraz od sformułowania celu, układu i tezy pracy. Za cel pracy Doktorant postawił sobie opracowanie wybranych modeli analitycznych i numerycznych zagadnienia prostego i odwrotnego tomografii magnetoakustycznej ze wzbudzeniem indukcyjnym MAT-MI. Modele te miały umożliwić rekonstrukcję źródeł ciśnienia akustycznego, dzięki którym możliwe było określenie rozkładu przestrzennego konduktywności wewnętrznej obiektów słaboprzewodzących.

Teza pracy nie została wprost postawiona, a raczej rozdzielona w mojej opinii na trzy główne fragmenty tj. „**dla określonych układów geometrycznych badanych obiektów oraz określonych konfiguracji elektromagnetycznych pól wzbudzających można otrzymać analityczne i numeryczne rozwiązania określające rozkłady ciśnienia akustycznego, które odpowiadają różnym konduktywnością obszaru badanego obiektu” oraz „dla obiektów o uproszczonych kształtach wyniki obliczeń analitycznych są w zgodzie z rezultatami modelowania numerycznego opartego na metodzie elementów skończonych MES” i „w zależności od stopnia skomplikowania geometrycznego badanego obiektu oraz tzw. rozdzielczości**

**skanowania można wyznaczyć w sposób ilościowy wartość wskaźnika jakości rekonstrukcji obrazu w tomografii MAT-MI**. Niezależnie od formy postawionej tezy uważam, że doktorant w całości ją udowodnił. Zakres prac podjętych przez Autora uważam za dobrany właściwie.

W rozdziale drugim Doktorant omówił problematykę związaną z obrazowaniem właściwości elektrycznych obiektów słaboprzewodzących, która może znaleźć zastosowanie w badaniach biomedycznych. Doktorant w sposób bardzo jasny dla czytelnika na 27 stronach przedstawił stosowane metody elektromagnetyczne, metody hybrydowe oraz metodę MAT-MI. Przegląd stosowanych metod oraz ich opis uważam za całkowicie wystarczający i uzasadniony, wprowadzający czytelnika w złożone zjawiska.

W rozdziale trzecim Autor zaprezentował modele analityczne tomografii MAT-MI dla obiektu cylindrycznego ze szczeliną podłużną oraz dla dwu i trójwarstwowego obiektu cylindrycznego.
W rozdziale tym Doktorant w jasny sposób opisał modele analityczne tomografii MAT-MI, których poprawność zweryfikował z modelami numerycznymi. Otrzymane przez Doktoranta liczne przykłady rozkładów natężenia pola magnetycznego, generowanych prądów wirowych oraz ciśnienia akustycznego modeli analitycznych i numerycznych są zbliżone z zadawalającą dokładnością. Opracowane przez Doktoranta modele analityczne uważam, za jedno z większych Jego osiągnięć
w pracy doktorskich. Modele te pozwalają na głębszą analizę badanych zjawisk dla różnych wartości parametrów modeli. Na uwagę zasługują również poprawne wyniki rekonstrukcji rozkładów źródeł fal akustycznych w przyjętych do analizy modelach.

W rozdziale czwartym Doktorant przedstawił wyniki analizy modeli numerycznych tomografii MAT-MI. Na początku omówił narzędzia i algorytmy rekonstrukcji obrazów, a następnie przedstawił wyniki i analizę wpływu kształtu i czasu trwania impulsu wzbudzenia na jakość rekonstrukcji rozkładu konduktywności elektrycznej. Po zamodelowaniu obiektu w postaci elipsoidy wewnątrz, której umieszczone zostały dwa współosiowe koła i połączony kwadrat z kołem, Doktorant przeprowadzić szereg eksperymentów numerycznych dla różnej liczby punktów pomiarowych (MP), wykazując większą skuteczność rekonstrukcji obrazów wykonanych za pomocą narzędzia k-Wave z interpolacją punktów pomiarowych. Autor podjął się również analizy jakości zrekonstruowanego obrazu w zależności od wielkości elementów siatki obliczeniowej i czasu rekonstrukcji. Obliczenia numeryczne zostały przeprowadzone z zastosowaniem COMSOL Multiphysics+MATLAB oraz k-Wave’a. Na podstawie przeprowadzonej analizy numerycznej Doktorant postawił słuszne wnioski oraz stwierdził, że do pełnej analizy wpływu rozmiarów elementów siatki i czasu rekonstrukcji na jakość rekonstrukcji obrazu konieczne jest wprowadzenie wskaźnika jakości obrazu, który omówił w podrozdziale 4.5.1. Autor pracy przeprowadził również badania jak kształt i czas trwania impulsu wzbudzenia wpływa na rekonstrukcję obrazu. Do tych badań przyjął pięć różnych impulsów wzbudzenia dla dwóch obiektów: dwu i trójwarstwowego. Na podstawie przeprowadzonych eksperymentów numerycznych Doktorant postawił słuszne wnioski, zauważając, że większa liczba zafalowań i dłuższy czas trwania impulsu przyczynia się do pogorszenia ostrości granic między obszarami o różnej konduktywności elektrycznej. Podkreślił również, że należy odpowiednio dopasować parametry impulsu wzbudzającego do własności badanego obiektu. W podrozdziale 4.3 Doktorant omówił wpływ rozmiarów elementów badanego obiektu i niejednorodności konduktywności elektrycznej obiektu na rekonstrukcję obrazu. Do badań przyjęto model ponad dwudziestu kół o różnych średnicach znajdujących się wewnątrz dużego koła. Badaniom poddano model w trzech wariantach z różną kombinacją konduktywności elektrycznej poszczególnych podobszarów. W wyniku przeprowadzonych eksperymentów numerycznych Doktorant wysunął prawidłowe wnioski dotyczące rekonstrukcji obrazu. Następnie przeprowadził badania modelu dwóch i trzech współosiowych kół
z kombinacją pięciu różnych wartości konduktywności elektrycznej od 0 S/m do 15 S/m. Na podstawie przeprowadzonych badań Autor stwierdził, że jakość rekonstrukcji obrazu jest zależna od wartości konduktywności elektrycznych oraz od kolejności wartości tych konduktywności w poszczególnych warstwach. W podrozdziale 4.4 Doktorant podjął ważny temat związany z wpływem niejednorodności akustycznej obiektu na rekonstrukcję obrazu. Do badań przyjęto model koła wewnątrz, którego umieszczono dwie elipsoidy i koło. Analizę przeprowadzono dla dwóch przypadków: z jednorodnym i niejednorodnym rozkładem prędkości dźwięku. Autor stwierdził, że niejednorodny rozkład prędkości dźwięku negatywnie wpływa na rekonstrukcję obrazu i jest to złożony problem. W podrozdziale 4.5.1 Doktorant podjął się analizy optymalnego doboru wskaźnika jakości rekonstrukcji obrazu tj. wskaźnika, który pozwoliłby określić jakościowe podobieństwo oryginalnego i rekonstruowanego obrazu. Łącznie zastosował pięć różnych wskaźników jakości. Badania przeprowadził dla dwóch modeli o małej i większej złożoności geometrycznej. Wydaje się, że należałoby w pierwszej kolejności wybrać metodę oceny jakości rekonstrukcji obrazu, która wsparłaby następnie ocenę jakości rekonstrukcji obrazów omawianych w poprzednich podrozdziałach. Doktorant podsumował cały czwarty rozdział wnikliwymi i słusznymi wnioskami.

W piątym podrozdziale Doktorant przedstawił wyniki badań eksperymentalnych. W tym celu zbudowane zostało stanowisko pomiarowe dedykowane do tomografii MAT-MI. Podjęcie próby przeprowadzenia badań eksperymentalnych w przypadku tak złożonych zjawisk jest niewątpliwie dużym wyzwaniem. Szczególną trudność w pomiarach, na które wskazuje sam Autor są sprzężenia elektromagnetyczne cewki wzbudzającej z przetwornikiem piezoelektrycznym oraz odbicia fal akustycznych od ścian obudowy stanowiska. Doktorant przedstawił wynik badań eksperymentalnych na przykładzie obiektu w postaci miedzianego pierścienia, którego wynik rekonstrukcji obrazu należy uznać za udany. Jednakże należy zwrócić uwagę, że praca doktorska dotyczy obiektów słaboprzewodzących, zatem zastosowanie do badań eksperymentalnych obiektu o bardzo dużej konduktywności elektrycznej tj. miedzi wydaje się nieuzasadnione.

W podsumowaniu Doktorant postawił słuszne wnioski z przeprowadzonych badań na modelach analitycznych i numerycznych oraz eksperymentalnych, wskazując na mocne i słabe strony metody MAT-MI.

W załącznikach Doktorant zamieścił cztery publikacje, których był współautorem i jedną autorską. Publikacje te opublikowane zostały w wysoko punktowanych czasopismach.

1. **Ważniejsze osiągnięcia rozprawy**

Doktorant nie wskazał najważniejszych osiągnięć swojej pracy doktorskiej. W mojej ocenie praca doktorska mgr inż. Adama Ryszarda Żywicy ma niewątpliwe osiągnięcia, do których należy zaliczyć:

• opracowanie modeli analitycznych tomografii MAT-MI;

• przeprowadzenie wnikliwej analizy wpływu kształtu i czasu trwania impulsu wzbudzenia, niejednorodności elektrycznej i rozmiaru badanego obiektu oraz niejednorodności akustycznej obiektu na rekonstrukcję jego obrazu;

• przeprowadzenie złożonych badań eksperymentalnych.

1. **Uwagi krytyczne**

W opiniowanej rozprawie przeprowadzono badania modeli analitycznych i numerycznych oraz eksperymentalnych obrazowania rozkładu konduktywności elektrycznej obiektów słaboprzewodzących z zastosowaniem tomografii MAT-MI. Zastrzeżenia natury ogólnej budzą następujące aspekty rozprawy dotyczące:

Rozdział 2

1. Czy stwierdzenie, że siła Lorentza działa „wzdłuż kierunku normalnego do płaszczyzny, w której płyną zaindukowane prądy wirowe” (str.37) jest prawidłowe ?

Rozdział 3

1. Po co brać pod uwagę kartezjański układ współrzędnych (str.45 drugi akapit) skoro wszystkie zaprezentowane w pracy modele dotyczą układu cylindrycznego ?

2. Na rys.3.7 (str.54) przedstawiono wykresy znormalizowanego ciśnienia akustycznego. Jednak nie zdefiniowano normalizacji ciśnienia.

3. Na rys.3.15 przedstawiono wartości pola magnetycznego i prądów wirowych w funkcji czasu, które nie zaczynają się od t =0 µs. Proszę o komentarz w tej sprawie.

Rozdział 4

1. W podrozdziale 4.1.2 przedstawiono model obiektu, dla którego nie podano wartości konduktywności elektrycznej poszczególnych obszarów modelu. Jakie wartości konduktywności elektrycznej przyjęto w przeprowadzonej analizie ?

1. **Uwagi szczegółowe**

W symbolu str.Xnm, X-oznacza numer strony, n-numer wiersza od góry strony, m-numer wiersza
z dołu strony. Tekst napisany czcionką *italic* jest tekstem z rozprawy.

str.307 „*zraz*” – powinno być „wraz”.

str.3514 „*w obecności*” – powinno być „W obecności” ?

str.36 niewłaściwy symbol iloczynu skalarnego we wzorze (2.5) przed .

str.1024 „znalezienie” – wyznaczenie lub dobór

1. **Ocena poziomu wydawniczego i redakcyjnego rozprawy**

Układ treści rozprawy można uznać za właściwy. Praca zawiera nieliczne błędy językowe. Należy wyróżnić bardzo dobrą stronę edytorską oraz ładną szatę graficzną rozprawy doktorskiej.

1. **Ocena rozprawy doktorskiej**

Wybór tematyki rozprawy i jej zakres są właściwe i nie budzą większych zastrzeżeń. Tematyka rozprawy jest aktualna na tle obecnego stanu wiedzy. Autor rozprawy wykazał wiedzę teoretyczną
i praktyczną w zakresie dyscypliny naukowej, której dotyczy rozprawa.

Opiniujący oczekuje od Doktoranta ustosunkowania się do zawartych w recenzji uwag w czasie publicznej dyskusji nad rozprawą. Stwierdzam, że Doktorant posiada wiedzę ogólną i predyspozycje niezbędne do prowadzenia pracy naukowej.

1. **Wniosek końcowy**

Podsumowując, pragnę podkreślić, że rozprawa doktorska mgra inż. Adama Ryszarda Żywicy pt.: „Obrazowanie rozkładu konduktywności elektrycznej obiektów słaboprzewodzących z zastosowaniem tomografii magnetoakustycznej ze wzbudzeniem indukcyjnym”, zdecydowanie spełnia wymagania stawiane w art.13. ust.1 Ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki” (Dz. U. z dnia 21.06.2016 r. poz.882) pracom na stopień doktora nauk technicznych i wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony w dyscyplinie automatyka, elektronika i elektrotechnika, w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych.