

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.

2. 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 przeprowadził 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

badania 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 kondukcyjności 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 kondukcyjności 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 kondukcyjności 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 kondukcyjności elektrycznej od 0 S/m do 15 S/m. Na podstawie przeprowadzonych badań Autor stwierdził, że jakość rekonstrukcji obrazu jest zależna od wartości kondukcyjności elektrycznych oraz od kolejności wartości tych kondukcyjności 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.

3. 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.

4. 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 $t = 0 \mu s$. 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 ?

5. Uwagi szczegółowe

W symbolu str. X_m^n , 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 $\delta(t)$.

str.102⁴ „znalezienie” – wyznaczenie lub dobór

6. 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.

7. 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.

8. 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.