

mgr inż. Adam Ryszard Żywica

## STRESZCZENIE ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

### *Obrazowanie rozkładu konduktywności elektrycznej obiektów słaboprzewodzących z zastosowaniem tomografii magnetoakustycznej ze wzbudzeniem indukcyjnym*

W ostatnim dwudziestoleciu można zaobserwować dużą liczbę publikacji naukowych związanych z problematyką obrazowania konduktywności obiektów słaboprzewodzących takich jak tkanki biologiczne. Zagadnienie to jest niezwykle istotne w obrazowaniu i diagnostyce medycznej, ponieważ dzięki pomiarom tego parametru można dokonywać oceny stanów zdrowotnych tkanek oraz narządów. Pomimo istotnego postępu technologicznego i naukowego w tym zakresie, w dalszym ciągu istnieje potrzeba opracowywania bardziej skutecznych metod obrazowania.

W niniejszej rozprawie przeprowadzono badania analityczne, numeryczne oraz eksperymentalne dotyczące tomografii magnetoakustycznej ze wzbudzeniem indukcyjnym MAT-MI. Ta wysokorozdzielcza metoda obrazowania dedykowana jest szczególnie do przedstawiania rozkładów konduktywności obiektów dobrze- i słaboprzewodzących. W tomografii magnetoakustycznej ze wzbudzeniem indukcyjnym przewodzący obiekt umieszcza się w stałym i zmiennym w czasie polu magnetycznym. W obiekcie – w wyniku zjawiska indukcji elektromagnetycznej – powstają prądy wirowe, które w procesie interakcji ze statycznym polem magnetycznym są odpowiedzialne za generowanie sił Lorentza i finalnie za propagację fal ultradźwiękowych. Samo zjawisko fizyczne jest ogólnie dobrze znane, niemniej dla obiektów przestrzennych szczegółowy opis matematyczny nie jest najłatwiejszy, a wiele pytań naukowych w dalszym ciągu nie jest rozstrzygniętych.

Obrazowanie ultradźwiękowe wykorzystuje zarejestrowane za pomocą przetwornika sygnały akustyczne i umożliwia zrekonstruowanie źródła akustycznego w badanym obiekcie. Powstałe źródło akustyczne jest zazwyczaj zbiorem elementarnych źródeł, które różnią się między sobą wartością konduktywności. Takie źródło jest bardzo silne na granicach zmian konduktywności, gdzie gwałtowniejsze zmiany powodują generację fali akustycznej o zdecydowanie większej amplitudzie. Opisany mechanizm generacji fal ultradźwiękowych wraz z zastosowaniem tradycyjnej metody obrazowania ultrasonograficznego pozwala na rekonstrukcję granic tego źródła, odzwierciedlając przy tym także faktyczny rozkład zmian konduktywności badanego obiektu.

W pracy zaprezentowano szczegółowe rozwiązania analityczne tomografii MAT-MI dla trzech wybranych obiektów o uproszczonych kształtach. W szczególności, dla każdej konfiguracji geometrycznej wyprowadzono i przedstawiono wyrażenia matematyczne opisujące rozkład natężenia pola magnetycznego oraz rozkład gęstości zaindukowanych prądów wirowych. Ponadto, przedstawiono rozwiązania analityczne dotyczące generacji i detekcji fal ultradźwiękowych oraz finalnie – z wykorzystaniem metody różnic skończonych – zaprezentowano przykładowe rekonstrukcje. W rozprawie zaproponowano również nowe narzędzie do tworzenia rekonstrukcji obrazu, będące sprzężeniem możliwości obliczeniowych i programistycznych dwóch komercyjnych oprogramowań tj. COMSOL Multiphysics oraz MATLAB. Narzędzie to umożliwia rozwiązanie zagadnienia odwrotnego tomografii MAT-MI.

W dalszej części pracy zaprezentowano analizy i wyniki rekonstrukcji szeregu bardziej złożonych modeli numerycznych, które różniły się między sobą m.in. wielkością, kształtem, rozkładem konduktywności czy też rozkładem prędkości dźwięku. Dodatkowo, analizie poddano także wpływ kształtu i długości trwania impulsu wzbudzenia na jakość otrzymywanych rekonstrukcji. W celu wyznaczenia optymalnego kroku skanowania, otrzymane rekonstrukcje obrazu poddano procesowi cyfrowego przetwarzania obrazów.

Finalnie, na potrzeby oceny przydatności tomografii MAT-MI, zbudowano prototypowe stanowisko pomiarowe, a następnie wykonano badania eksperymentalne.

## DISSERTATION ABSTRACT

*Electrical conductivity distribution imaging of low conductivity objects using magnetoacoustic tomography with magnetic induction*

The last two decades have seen a large number of publications related to the problem of imaging the conductivity of low-conductivity objects such as biological tissues. This issue is extremely important in medical imaging and diagnostics, because thanks to the measurements of this parameter, it is possible to assess the health status of tissues and organs. Despite significant technological and scientific progress in this field, there is still a need to develop more efficient imaging methods.

In this dissertation, analytical, numerical, and experimental studies on magnetoacoustic tomography with magnetic induction MAT-MI have been performed. This high-resolution imaging method is dedicated to present the electrical conductivity distributions of good- and low-conductivity objects. In magnetoacoustic tomography with magnetic induction the conductive object is placed in a static and time-varying magnetic field. In the object, as a result of electromagnetic induction phenomenon, eddy currents are created, which in interaction with static magnetic field are responsible for generation of Lorentz forces and finally for propagation of ultrasound waves. The physical phenomenon itself is generally well known, however, for spatial objects a detailed mathematical description is not the easiest and many scientific questions were still not answered. Ultrasonic imaging uses the acoustic signals recorded with an ultrasonic transducer and makes it possible to reconstruct the acoustic source in the objects under study. The resulting acoustic source is usually a collection of elementary sources that differ in their conductivity values. Such a source is very strong at the boundaries of conductivity changes, where more rapid changes cause generation of an acoustic wave of much larger amplitude. The described mechanism of ultrasound waves generation, together with the application of traditional ultrasound imaging method, allows to reconstruct the boundaries of this source, reflecting at the same time the actual distribution of conductivity of the investigated object.

This paper presents detailed analytical solutions of MAT-MI tomography for three selected objects with simplified shapes. In particular, for each geometrical configuration, mathematical expressions describing the distribution of the magnetic field strength and the distribution of the density of induced eddy currents are derived and presented. Furthermore, analytical solutions to the problem of ultrasonic wave

generation and detection are presented and, finally, example reconstructions are presented using the finite difference method. A new tool for creating image reconstructions, being a coupling of computational and programming capabilities of two commercial software, i.e. COMSOL Multiphysics and MATLAB, was also proposed in the dissertation. This tool allows solving the inverse problem of the MAT-MI tomography.

In the following part of the paper, analyses and reconstruction results of a number of more complex numerical models were presented, which differed in size, shape, conductivity distribution or sound velocity distribution, among others. In addition, the influence of the shape and duration of the excitation pulse on the quality of the reconstructions obtained were also analyzed. In order to determine the optimal scanning step, the obtained image reconstructions were subjected to digital image processing.

Finally, in order to assess the usefulness of MAT-MI tomography, a prototype of measuring station was built and experimental tests were performed.