

Prof. dr hab. inż. Adam Kawalec
Instytut Techniki Raketowej i Mechatroniki
Wydział Mechatroniki, Uzbrojenia i Lotnictwa
Wojskowa Akademia Techniczna

Warszawa, dnia 14.06.2022 r.

**RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ DLA RADY DYSCYPLINY
AUTOMATYKA, ELEKTRONIKA I ELEKTROTECHNIKA
POLITECHNIKI WROCŁAWSKIEJ**

**Tytuł rozprawy: „Analiza możliwości ultradźwiękowej tomografii
dopplerowskiej”**

Autor: mgr inż. Tomasz ŚWIETLIK

Promotor: Prof. dr hab. inż. Krzysztof J. OPIELIŃSKI

1. Jakie zagadnienie naukowe/badawcze jest rozpatrzone w pracy (cel i teza rozprawy) i czy zostało ono dostatecznie jasno sformułowane przez autora?

Rozprawa doktorska dotyczy metody akwizycji danych pomiarowych i rekonstrukcji obrazów z wykorzystaniem tomografii dopplerowskiej (DT - ang. *Doppler Tomography*), której odpowiednikiem jest ultradźwiękowa tomografia fali ciągłej (CWUT - ang. *Continuous Wave Ultrasonic Tomography*), gdzie wykorzystuje się dobrze znane zjawisko Dopplera, co umożliwia zobrazowanie stacjonarnych przekrojów obiektów, a w efekcie zobrazowanie wtrąceń znajdujących się wewnątrz badanej tkanki. W przeciwieństwie do klasycznych metod, stosowana głowica generująca ciągłą falę ultradźwiękową wykonuje ruch wokół lub wzdłuż badanego obiektu.

Genezą zainteresowania Doktoranta tą problematyką była analiza możliwości wykorzystania metody tomografii dopplerowskiej w medycynie, głównie przy badaniu piersi kobiet pod kątem zmian nowotworowych oraz w ortopedii. Rozważana metoda tomografii dopplerowskiej cechuje się ważną zaletą, mianowicie w przeciwieństwie do

metody mammograficznej nie wymaga stosowania promieniowania rentgenowskiego potencjalnie szkodliwego dla zdrowia pacjentów.

Bazując na bardzo ograniczonych aktualnych doniesieniach literaturowych w zakresie tematycznym pracy oraz własnych doświadczeniach badawczych Doktorant podjął zatem zagadnienia związane z kompleksowym badaniem metody tomografii dopplerowskiej w zastosowaniach nie tylko medycznych ale również w badaniach nieniszczących materiałów zawierających np. niepożądane wtrącenia, co wymagało rozwiązania istotnych zagadnień badawczych.

Cele rozprawy są określone właściwie, tematyka jest aktualna i potrzebna. Recenzowana rozprawa ma charakter teoretyczno-doświadczalny.

Doktorant sformułował następującą tezę rozprawy:

„Istnieje możliwość wykorzystania ultradźwiękowej fali ciągłej i zjawiska Dopplera do zobrazowania metodą tomografii dopplerowskiej przekroju struktury obiektu zawierającej wtrącenia dobrze rozpraszające ultradźwięki. Opracowanie odpowiedniej metody pomiarowej, metody przetwarzania rejestrowanych dopplerowskich sygnałów ultradźwiękowych wraz z szybkim algorytmem rekonstrukcji obrazu pozwoli na zwiększenie rozdzielczości i jakości takiego obrazowania” oraz przedstawił zadania cząstkowe wynikające z celu rozprawy i weryfikacji powyższej tezy.

Rozprawa składa się z pięciu rozdziałów, biografii, załącznika z wykazem dorobku naukowego Autora rozprawy doktorskiej. Po wprowadzeniu w tematykę rozprawy (rozdział 1.), Autor w rozdziale 2. skoncentrował się na symulacji obrazowania z wykorzystaniem metody tomografii dopplerowskiej. Przedstawił również motywację podjęcia badań dotyczących przedmiotu rozprawy.

W rozdziale 3. Doktorant przedstawił zaawansowaną symulację rekonstrukcji obrazu za pomocą metody tomografii dopplerowskiej, co wymagało modelowania matematycznego, a w szczególności wyprowadzenie wzoru na postać czasową sygnału dopplerowskiego. Dodatkowymi zagadnieniami, które Doktorant szczegółowo opisał było zagadnienie związane z akwizycją sygnału dopplerowskiego oraz problem związany z rozdzielczością widma tego sygnału dla danych kątów obrotu głowicy. Symulacje obrazowania za pomocą metody tomografii dopplerowskiej umożliwiły zbadanie wpływu częstotliwości głowicy, częstotliwości obrotu głowicy oraz średnicy strefy obrazowania na jakość obrazowania. Nie bez znaczenia są również opracowane przez Doktoranta dwa algorytmy, bez których obrazy miałyby bardzo niską rozdzielczość. Przeprowadzenie tych wszystkich badań, analiz i symulacji było

niezbędne do wyznaczenia optymalnych parametrów metody tomografii dopplerowskiej.

Rozdział 4. zawiera opis układu pomiarowego zastosowanego do rekonstrukcji obrazu za pomocą metody tomografii dopplerowskiej ze szczegółową analizą głowicy ultradźwiękowej, która jest podstawowym elementem układu pomiarowego, w skład którego wchodzi również przepływomierz dopplerowski UD48V firmy Sonomed oraz robot UR3 firmy Universal Robots, który charakteryzuje się niskim poziomem zakłóceń podczas pomiarów sygnału dopplerowskiego w metodzie tomografii dopplerowskiej.

W rozdziale 5. Doktorant zaprezentował wnioski oraz możliwości wykorzystania metody tomografii dopplerowskiej podkreślając, że obecnie nie potwierdzono w literaturze opisu urządzenia działającego w oparciu o metodę tomografii dopplerowskiej. Dodatkowo Doktorant potwierdził w wyniku badań własnych, że możliwe jest skonstruowanie taniego urządzenia do rekonstrukcji obrazu przekroju badanego obiektu. Cennym jest również propozycja dalszych badań związanych z wykorzystaniem metody tomografii dopplerowskiej.

Zasadnicze, oryginalne elementy pracy Doktorant przedstawił w podsumowaniu rozprawy, które potwierdzają tezę rozprawy.

2. Czy w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł, w tym literatury światowej, stanu wiedzy i zastosowań w przemyśle?

W przedstawionej do recenzji rozprawie Doktorant uwzględnił 16 pozycji literaturowych, których w czterech jest współautorem. Literatura przedmiotu, zawiera pozycje książkowe, konferencyjne oraz publikacje istotnych, czołowych pism światowych. Jednak niewielka liczba cytowanych prac wynika z faktu, że niewiele ośrodków na świecie zajmują się badaniem metody tomografii dopplerowskiej.

Bazując na dostępnych pracach Autor przeprowadził analizę stanu wiedzy w zakresie tematyki rozprawy. Sposób przeprowadzenia analizy źródeł odpowiada potrzebom rozprawy i należy uznać go za właściwy i szczegółowy. Doktorant wykazał się bardzo dobrą znajomością problematyki związanej z tematyką rozprawy.

Analiza źródeł literaturowych z odpowiednim wnioskowaniem pozwoliła na sformułowanie celu pracy oraz zadań badawczych.

3. Na czym polega oryginalność rozprawy, co stanowi samodzielny i oryginalny dorobek autora, jaka jest pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy i poziomu techniki reprezentowanych przez literaturę światową?

Przyjęte cele rozprawy wymagało przede wszystkim rozwiązania kilku istotnych problemów badawczych. Praca stanowi zatem oryginalny wkład Autora do problematyki obrazowania stacjonarnych przekrojów obiektów metodą tomografii dopplerowskiej, co umożliwia identyfikację wtrąceń znajdujących się wewnątrz badanej tkanki i ma istotne znaczenie np. we wczesnym rozpoznaniu chorób nowotworowych. Do zasadniczych, oryginalnych osiągnięć Autora należy zaliczyć: opracowanie symulacji obrazowania metodą tomografii dopplerowskiej bez wykorzystania znanych w literaturze algorytmów poprawy jakości obrazu, algorytm poprawy rozdzielczości obrazu, a także rozdzielczości i rozmycia obrazu wtrąceń znajdujących się wewnątrz badanej struktury. Doktorant przedstawił nieznanie w literaturze przedmiotu wyniki badań wpływu częstotliwości sygnału nadawczego głowicy ultradźwiękowej na jakość obrazowania oraz przeprowadził analizę wpływu prędkości obrotu głowicy na jakość tego obrazowania. Doktorant opracował ponadto głowicę ultradźwiękową o częstotliwości 4 MHz dedykowaną do metody tomografii dopplerowskiej oraz stanowisko pomiarowe, dzięki któremu przeprowadził serię obszernych eksperymentów, co pozwoliło na uzyskanie rzeczywistego obrazu od metalowego wtrącenia o średnicy 2.8 mm i istotną poprawę jego parametrów za pomocą opracowanych przez Doktoranta algorytmów.

Opracowane przez Autora oryginalne rozwiązania powodują, że wykorzystanie metody tomografii dopplerowskiej w diagnostyce medycznej nie wymaga stosowania przede wszystkim szkodliwego dla zdrowia promieniowania jonizującego, które wykorzystywane jest w popularnych badaniach RTG. Uzyskane rozwiązania nie są dotąd znane w literaturze przedmiotu. Dodatkowo interpretacja zamieszczonych w rozprawie, obszernych wyników zaproponowanych przez Doktoranta badań eksperymentalnych zasługuje na podkreślenie.

Rozprawa zawiera również w dodatku A wykaz dorobku naukowego Doktoranta jako współautora 9. recenzowanych publikacji naukowych opublikowanych również w czasopiśmie posiadającym Impact Factor, dziewięciu referatów wygłoszonych na konferencjach naukowych związanych z tematyką rozprawy doktorskiej, co należy podkreślić jako dorobek niezwykle imponujący.

4. Czy autor wykazał umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników (zwięzłość, jasność, poprawność redakcyjna rozprawy)?

Rozprawa doktorska zawiera 104 strony i zredagowana jest w sposób bardzo staranny, napisana jasnym językiem i posiada logiczny układ. Szata graficzna przy prezentacji uzyskanych rezultatów jest przejrzysta i logiczna. Wyniki analiz przedstawione zostały w rozprawie w sposób jasny i zwięzły.

W rozprawie nie znalazłem zasadniczych błędów edycyjnych. Ale brakuje odniesień literaturowych do niektórych wzorów matematycznych, co utrudnia recenzentowi ocenę, które wzory są oryginalne (własne), co oczywiście nie obniża wartości rozprawy. Praca wykonana jest wręcz wzorowo i trudno doszukiwać się słabych stron rozprawy. Przedstawiona bowiem do recenzji rozprawa stanowi nowatorskie, szerokie i wnikliwe opracowanie potwierdzone precyzyjnie zaplanowanymi badaniami eksperymentalnymi.

5. Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk inżynierjno-technicznych?

Autor opracował głowicę ultradźwiękową dedykowaną do metody tomografii dopplerowskiej oraz oryginalne stanowisko badawcze. Doktorant dodatkowo wskazał możliwe inne zastosowania metody tomografii dopplerowskiej w badaniach nieniszczących, poza zastosowaniami w diagnostyce medycznej w rekonstrukcji obrazu przekroju badanego obiektu.

Opracowane przez Doktoranta oryginalne technologie stanowią unikalne narzędzie do projektowania urządzeń z zastosowaniem metody tomografii dopplerowskiej. Wybrane wyniki i metody można wykorzystać w innych pracach naukowych i badawczo-rozwojowych z zakresu zobrazowania wtrąceń w badanych strukturach.

6. Do której z następujących kategorii Recenzent zalicza rozprawę?

- a) *nie spełniająca wymagań stawianym rozprawom doktorskim przez obowiązujące przepisy,*
- b) *wymagająca wprowadzenia poprawek i ponownego recenzowania,*
- c) *spełniająca wymagania,*
- d) *spełniająca wymagania z nadmiarem,*
- e) **wybitnie dobra, zasługująca na wyróżnienie.**

Recenzowana praca doktorska spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim, zgodnie z Ustawą o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. (Dz.U. z 2017 r. poz. 1789), oraz zgodnie z Ustawą z 3 lipca 2018 r. – Przepisy wprowadzające ustawę - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2018 r. poz. 1669 z póź. zm.) w dziedzinie nauk inżyniersko-technicznych, w dyscyplinie automatyka, elektronika i elektrotechnika, wnosząc o przyjęcie rozprawy i jej dopuszczenie do publicznej obrony.

Rozprawa doktorska zasługuje na wyróżnienie biorąc pod uwagę bogaty dorobek naukowy Doktoranta. Należy zauważyć, że mgr inż. Tomasz ŚWIETLIK występuje jako pierwszy autor w większości opublikowanych prac zamieszczonych w wykazie dorobku naukowego.

