

**RADA NAUKOWA DYSCYPLINY AUTOMATYKA, ELEKTRONIKA, ELEKTROTECHNIKA I TECHNOLOGIE
KOSMICZNE**

zaprasza na

PUBLICZNĄ OBRONĘ ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr. inż. Damiana Wanty

która odbędzie się w dniu *17 marca 2022* roku o godzinie 11:00

w Audytorium Centralnym Wydziału Elektroniki i Technik Informacyjnych ul. Nowowiejska 15/19

Temat rozprawy doktorskiej:

"Czasowo-przestrzenne próbkowanie danych w trójwymiarowej elektrycznej tomografii pojemnościowej"

Promotor: dr hab. inż. Waldemar Smolik, prof. uczelni - Politechnika Warszawska

Recenzenci:

1. prof. dr hab. inż. Robert Cierniak – Politechnika Częstochowska
2. dr hab. inż. Przemysław Łopato, prof. uczelni – Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

Z rozprawą doktorską i recenzjami można zapoznać się w Czytelni Biblioteki Głównej Politechniki Warszawskiej, Warszawa, Plac Politechniki 1. Streszczenie rozprawy doktorskiej i recenzje są zamieszczone na stronie internetowej <https://www.bip.pw.edu.pl/Postepowania-w-sprawie-nadania-stopnia-naukowego/Doktoraty/Wszczete-do-30-kwietnia-2019-r/Dyscyplina-automatyka-elektronika-i-elektrotechnika-dziedzina-nauk-inzynieryjno-technicznych>

Przewodniczący Rady Naukowej
Dyscypliny Automatyka, Elektronika,
Elektrotechnika i Technologie
Kosmiczne Politechniki Warszawskiej
Prof. dr hab. inż. Tomasz Starecki

Streszczenie

Niniejsza rozprawa poświęcona jest rekonstrukcji obrazów trójwymiarowych z czasowoprzestrzennych danych w elektrycznej tomografii pojemnościowej. Praca odnosi się do cyklu siedmiu publikacji, które dotyczą konstrukcji aparatury pomiarowej i metod przetwarzania danych. W pracy przedstawiono cel każdej z prac, omówiono zastosowane metody i osiągnięte wyniki. Przedstawione zostały rozwiązania zastosowane w tomografii EVT4, które pozwalają na osiągnięcie wysokiego stosunku sygnału do szumu w pomiarach bardzo małych pojemności. Opisano architekturę sprzętową i programową tomografu, która zapewnia szybką akwizycję danych, a tym samym dynamiczne obrazowanie w trybie 3D. W szczególności zaprezentowano technologię dynamicznej rekonfiguracji częściowej umożliwiającą zmianę trybu zbierania danych w trakcie pomiaru. Przedstawiono metodę wyznaczania wartości zespolonej pojemności z wykorzystaniem pobudzenia impulsowego, dzięki której możliwe są pomiary przepływów wielofazowych z fazą ciągłą przewodzącą.

W rozprawie szerzej omówiona została, zaproponowana w ostatniej publikacji z cyklu, metoda rekonstrukcji obrazów z wykorzystaniem danych czasowo-przestrzennych. W zaproponowanej metodzie dane zbierane podczas przemieszczania się obiektów w osi podłużnej sondy tomograficznej są wykorzystywane jako dodatkowe próbki przestrzenne. Eksperymenty przeprowadzono z wykorzystaniem danych uzyskanych na podstawie symulacji numerycznych i rzeczywistych pomiarów. Symulacje numeryczne przeprowadzane były za pomocą oprogramowania ECTsim, w którym zastosowano metodę objętości skończonych. Eksperymentalnie wykazano, że zastosowanie tej metody w zagęszczanej siatce strukturalnej pozwala na dokładne modelowanie w elektrycznej tomografii pojemnościowej. Zaproponowany został nowy obiekt testowy do oceny jakości rekonstruowanych obrazów, pozwalający na wyznaczanie funkcji przenoszenia modulacji. Weryfikacji metody rekonstrukcji obrazów z danych czasowo-przestrzennych dokonano poprzez porównanie z klasyczną rekonstrukcją 3D. Prace badawcze pokazały, że osiągnięta jakość pomiarów pozwala na realizację trójwymiarowej akwizycji danych. Zaproponowana metoda rekonstrukcji z danych czasowo-przestrzennych pozwala na poprawienie rozdzielczości przestrzennej systemu tomograficznego.

Słowa kluczowe: czasowo-przestrzenne próbkowanie danych, trójwymiarowa elektryczna tomografia pojemnościowa, system akwizycji danych, iteracyjne algorytmy rekonstrukcji

Recenzja rozprawy doktorskiej
mgra inż. Damiana Wanty
pt. *Czasowo-przestrzenne próbkowanie danych w*
trójwymiarowej elektrycznej tomografii
pojemnościowej

Prof. dr hab. inż. Robert Cierniak
Politechnika Częstochowska
Katedra Inteligentnych Systemów Informatycznych

Częstochowa, 30 stycznia 2023r.

Niniejsza recenzja została przygotowana na zlecenie Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika Politechniki Warszawskiej, Pana Prof. dra hab. inż. Tomasza Stareckiego pismem z dnia 21 października 2022 roku.

Ocena rozprawy doktorskiej

1. Uwagi wstępne

Podstawą wystąpienia o nadanie stopnia doktora dla Pana mgra inż. Damiana Wanty jest cykl siedmiu publikacji dotyczących technik przetwarzania sygnałów w zastosowaniu do elektrycznej tomografii pojemnościowej, w tym przypadku służącej monitorowaniu przesyłania substancji rurociągami w instalacjach przemysłowych. W szczególności wysiłki Doktoranta skupiały się na opracowaniu kilku istotnych elementów składowych systemu tomografu tego typu o nazwie EVT4, który powstawał (i mam wrażenie ciągle się udoskonalał) w ramach zespołu badawczego w Politechnice Warszawskiej, a które służyły zaimplementowaniu nowego podejścia do zagadnienia tomograficznego w powyższym zakresie, tj. zastosowania tam rekonstrukcji obrazów trójwymiarowych z czasowo-przestrzennych danych. Problematykę tę należy postrzegać w kontekście poważnych ograniczeń w obszarze konstrukcyjnym tomografów pojemnościowych, głównie dotyczących

małej rozdzielczości pozyskiwanych w takich tomografiach pomiarów. Proponowane przez Doktoranta poprzez swoje badania rozwiązanie zmierza do złagodzenia skutków powyższej wady (zwłaszcza odnoszącej się do wersji tomografii pojemnościowej z przetwarzaniem 3D) i próbuje uzupełnić brakujące pomiary poprzez pozyskiwanie danych czasowo-przestrzennych, co w efekcie ma doprowadzić do otrzymywania lepszych jakościowo obrazów 3D w elektrycznej tomografii pojemnościowej.

Należy podkreślić, że zakres badawczy ujęty w pracach Kandydata do stopnia naukowego doktora dotyczy dość istotnej dziedziny w odniesieniu do sposobów monitorowania przesyłu substancji poprzez rurociągi. Dominują w dorobku Doktoranta zastosowania przemysłowe opracowanych technik tomograficznych, choć przewijają się tam również odosobnione zagadnienia medyczne. Można przypuszczać, choć w przedstawionym autoreferacie brak jest o tym informacji, że zastosowanie praktyczne opracowań, w których brał znaczący udział Doktorant, mogą mieć wymierne skutki ekonomiczne, dzięki np. odpowiedniemu dostosowaniu profilu przesyłu substancji (surowca) na drodze lepszego jakościowo zobrazowania procesów zachodzących w rurociągu. Należy zatem uznać starania naukowe i inżynierskie Doktoranta, które są ujęte w Jego dorobku za w pełni umotywowane.

Z kolei z punktu widzenia technicznego, zastosowane przez Doktoranta podejścia w wielu aspektach mają charakter nowatorski, zwłaszcza te, które odnoszą się do rozwiązywania problemów o charakterze praktycznym, w odniesieniu do tematyki prowadzonych przez Niego badań. Znaczna część problemów, do których musiał odnieść się Doktorant w swojej pracy są złożone koncepcyjnie i wymagają dogłębnej wiedzy dziedzinowej. Co istotne, w dużej części zaproponowane rozwiązania znalazły w wydaniu Doktoranta podstawę i opis analityczny, co niestety coraz rzadziej można odnaleźć we współcześnie prowadzonych badaniach naukowych.

Opisane w opiniowanej pracy doktorskiej badania zawierają kilka wątków badawczych i rozwiązań praktycznych, które stanowią Jego wkład w poszczególne elementy całego łańcucha wyzwań składających się na rozwój koncepcji budowy elektrycznego tomografu pojemnościowego. Tego rodzaju profil działania stanowi jeszcze jeden przyczynek do uznania dorobku Doktoranta jako bardzo wartościowy, zarówno ze względu na naukowy, jak i praktyczny jego wymiar.

Konstatując powyższe, problem badawczy, przed którym stanął Doktorant należy uznać za wymagający na wielu płaszczyznach, naukowych i konstruktorskich, dotycząc kilku dyscyplin, tj. elektroniki, w mniejszym stopniu informatyki, miernictwa, fizyki i w końcu medycyny. Jednak największy wkład twórczy został wniesiony przez Doktoranta w zakresie elektroniki, plasując Jego pracę zdecydowanie w ramach dyscypliny elektronika, co

bezpośrednio przenosi te dokonania do aktualnie ujętej w wykazie dyscypliny automatyka, elektronika i elektrotechnika.

2. Zawartość cyklu publikacji poddanego ocenie

Cykl publikacji, który składa się na dokonanie naukowe Pana mgr inż. Damiana Wanty przedstawione we wniosku o przyznanie stopnia doktora, ujęty pod wspólnym tytułem *Czasowo-przestrzenne próbkowanie danych w trójwymiarowej elektrycznej tomografii pojemnościowej* obejmuje w sumie siedem artykułów. Zestawienie to zawiera jedynie publikacje, które ukazały się w czasopismach naukowych, żadne nie było wynikiem wystąpienia konferencyjnego. Poszczególne pozycje to artykuły z czasopism: *Measurement*; *Sensors Journal*; *Informatyka, Automatyka, Pomiar w Gospodarce i Ochronie Środowiska*; *Proceedings of the National Academy of Science, India, Sections A: Physical Sciences*; *Elektronika* (2 razy), *Measurement Science and Technology*. Publikacje powyższe ukazały się w latach 2017-2022. Najwyższe współczynniki bibliometryczne posiada publikacja [1], która jest oceniana przez MEiN na 200pkt (IF=5.131). Poza tym trzy czasopisma odnoszące się do pozycji z tej listy otrzymały od Ministerstwa 100pkt, tj. dla pozycji [2] (IF=4.325), [5] i [6] (IF=2.690). Czasopisma zawierające pozycje [4] i [7] otrzymały odpowiednio 40pkt. i 70pkt. Od momentu złożenia wniosku o nadanie stopnia naukowego liczba cytowań powyższych publikacji zwiększyła się i wynosi w przypadku pozycji [1] 44 (było 34), pozycji [2] 48 (było 42), pozycji [3] 9 (było 3), pozycji [4] 3 (było 0), pozycji [5] 3 było 0, pozycji [6] 1 (było 0) i pozycji [7] 2 (było 0) (w pewnej części nowe cytowania mają charakter autocytowań). W powyższym kontekście publikacje, w których powstaniu Doktorant miał udział i są ujęte w ocenianym cyklu należy uznać za bardzo wartościowe.

Do wniosku dołączony został również Autoreferat, który porządkuje tematykę poruszaną w poddanym ocenie cyklu publikacyjnym i podkreśla wątki, w których Doktorant upatruje szczególnie istotne swoje dokonania naukowe i techniczne.

Warto podkreślić, że wszystkie powyżej wymienione czasopisma posiadają profil zgodny z tematyką prowadzonych przez Doktoranta badań naukowych, a ich zróżnicowanie w tym cyklu dobrze świadczy o wiarygodności uzyskiwanych rezultatów. Ponadto zwraca na siebie uwagę fakt, że jakkolwiek w początkowej części tego cyklu, biorąc również pod uwagę chronologię publikacji, Doktorant występuje na środkowych pozycjach na listach autorów (pozycje [1]-[3]), to już od pozycji [3]-ej, aż do końca pojawia się On na pierwszym miejscu. Przemawia to za znaczącym udziałem Doktoranta w powstawaniu tych artykułów.

3. Ocena cyklu publikacji

W mojej ocenie recenzowane dokonania naukowe Pana Mgra inż. Damiana Wanty posiadają zarówno znaczącą wartość naukową, jak i godny uwagi charakter aplikacyjny, gdyż prezentowane w ramach niniejszej dysertacji rozwiązania znalazły bezpośrednie zastosowanie w konkretnej implementacji przemysłowej. Nasuwa się nieodparte wrażenie, że Doktorant musiał wcześniej przejść dość głębokie studia nad dziedziną zagadnienia w postaci tematyki tomografii pojemnościowej, występujących tam problemów naukowych i inżynierskich.

Jak już zauważono wcześniej, dokonania Doktoranta były ukierunkowane na opracowanie kilku istotnych elementów składowych systemu elektrycznego tomografu pojemnościowego o nazwie EVT4, który rozwijany jest w Politechnice Warszawskiej.

Pierwszy artykuł z listy, tj. pozycja [1] w recenzowanym cyklu, dotyczy konstrukcji sprzętowej, która służy akwizycji danych w tymże autorskim tomografie. Główną przesłanką konstrukcyjną w tym przypadku była szybkość przeprowadzanego procesu odczytu danych, co miało zapewnić realizację rekonstrukcji obrazu z czasowo-przestrzennych danych pomiarowych. W tym celu architekturę układu akwizycji oparto o układy FPGA (Xilinx Spartan 6), co w efekcie pozwoliło uzyskać czas odczytu pojemności około 50 μ s (dla pojemności z zakresu od ułamków femtofaradów do kilku pikofaradów). Deklarowany udział Doktoranta w powstaniu tej zaawansowanej konstrukcji to opracowanie programowania układów FPGA, odpowiedzialnego za komunikację z płytą główną systemu i za sterowanie pomiarami.

W drugim artykule z cyklu publikacyjnego przedstawiono metodę maksymalizacji parametru SNR, co ma wpływać bezpośrednio na jakość uzyskiwanych po rekonstrukcji obrazów, a pośrednio na możliwość zwiększenia rozdzielczości wykonywanych pomiarów. Głównym problemem technicznym w tym przypadku była uzyskanie mechanizmu rekonfiguracyjnego dla systemu tomografu (zmiana topologii elektrod), oraz umożliwienie określenia wpływu wzmocnienia dla poszczególnych par elektrod na jakość uzyskiwanych pomiarów. Warto podkreślić, że w artykule w analityczny sposób odniesiono się do zagadnienia wyznaczania parametrów układu pomiarowego. Wkładem Doktoranta w powstanie powyższej konstrukcji było oprogramowanie kart pomiarowych w celu umożliwienia zmiany poziomu wzmocnienia dla poszczególnych układów elektrod. W odniesieniu do Jego udziału w powstawaniu publikacji podkreśla się również pracę nad wyznaczeniem funkcji przenoszenia sygnału i szumu w układach pomiarowych.

Trzeci artykuł z cyklu to zbadanie możliwości w pełni funkcjonalnego tomografu pojemnościowego 3D, bez wykluczania pomiarów uzyskanych ze skrajnie położonych elektrod. W tym celu zbudowana została eksperymentalna instalacja pomiarowa, dzięki której udało się wykazać, że rejestrowalne są nawet niewielkie zmiany przenikalności elektrycznej wewnątrz przestrzeni pomiarowej, jeśli pomiary wykonywane są tomografem EVT4. Wkład doktoranta w powstanie tej publikacji to opracowanie procedur rotacji wzmocnień w układzie pomiarowym 3D.

W czwartym z kolei artykule zastosowano zagęszczone siatki dyskretyzacyjne w przestrzeni rekonstrukcyjnej, co miało prowadzić do zmniejszenia nakładów obliczeniowych przy wykorzystywaniu nieliniowych iteracyjnych algorytmów rekonstrukcyjnych (wielokrotne powtarzanie procedury rozwiązywania problemu prostego). W ramach badań rozbudowano oprogramowanie określane mianem ECTsim o funkcje umożliwiające symulowanie różnego typu rozkładu siatki dyskretyzacyjnej. Strategia postępowania dla wyznaczonego celu polegała na tym, aby w miejscach większej zmienności pola elektrycznego (granice obiektów o różnej przenikalności, przestrzeń między elektrodami) zagęszczać siatkę, a w miejscach „gładkich” zmniejszać tę gęstość. W konsekwencji przeprowadzonych eksperymentów opracowano metodę wyznaczania optymalnej siatki dyskretyzacyjnej. Wkład Doktoranta w powstanie tej publikacji to opracowanie metody zagęszczania siatki i implementacja metody objętości skończonych przy użyciu tak zmodyfikowanej geometrii. Warto dodać, że w tym przypadku Doktorant występuje na pierwszej pozycji na liście składającej się z pięciu twórców.

Piąty artykuł z cyklu opisuje wysiłki zespołu, w szczególności Doktoranta, w kierunku uelastycznienia systemu na wypadek zmiany warunków przepływu substancji wewnątrz rurociągu, w tym przypadku zmiany prędkości przepływu. W tym celu zaistniała konieczność dynamicznej zmiany prędkości próbkowania pomiarów w trakcie zmieniających się warunków, a co za tym idzie przeprogramowywania na bieżąco układów FPGA w tomografie EVT4. Zmiana ta wymagała dość znaczących ingerencji w dotychczasową budowę układu akwizycji danych, co zostało skutecznie przeprowadzone. Doktorant był autorem metody dynamicznej rekonfiguracji z użyciem procesora programowego. Wykonał również szereg innych czynności, które stanowiły proces analizy jakościowej przeprowadzonej modyfikacji. Duży wkład Doktoranta w uzyskanie powyższych rezultatów jest uwiarygodniony przez Jego pozycję na liście autorów (otwiera tę listę), a wartość publikacji może być oszacowana na podstawie wysokości punktacji dla stosowanego czasopisma (100pkt wg. Ministerstwa).

Artykuł szósty stanowi podejście do zagadnienia pomiaru typu ECT w przypadku fazowych przepływów (np. z udziałem wody, która posiada stosunkowo dużą przewodność

elektryczną) z wykorzystaniem wymuszenia impulsowego. Dzięki takiej technice możliwe jest wyznaczenie pojemności ośrodka, jak i jego przewodność. Co godne odnotowania eksperymenty w ramach prowadzonych badań nad tworzona techniką zostały przeprowadzone na przykładzie modelu płuc (zastosowanie medyczne). Wkład Doktoranta w powstanie publikacji to analiza odpowiedzi impulsowej układu pomiarowego i udział w określaniu kluczowych zależności dla wyznaczania pojemności i przewodności na podstawie pomiarów. W tym przypadku również należy odnotować fakt, że Doktorant posiadał znaczny udział w uzyskaniu rezultatów naukowych, co potwierdza Jego pozycja na liście autorów (otwiera tę listę), a wartość publikacji może być oszacowana na podstawie wysokości punktacji dla rzeczonoego czasopisma (100pkt wg. Ministerstwa).

Ostatnia już pozycja w cyklu, oznaczona numerem [7] dotyczy już finalnego zagadnienia w tomografii, czyli problemu rekonstrukcyjnego. Tytułowe podejście do prowadzenia pomiarów z czasowo-przestrzennym próbkowaniem zostało zastosowane tam jako uzupełnienie tradycyjnej procedury pomiarowej dla poprawy jakości uzyskiwanych rezultatów (jakości obrazów). Wkład Doktoranta w powstanie tej publikacji to przede wszystkim udział w opracowaniu koncepcji metody rekonstrukcji obrazów trójwymiarowych na podstawie danych czasowo-przestrzennych z użyciem rozszerzonej macierzy wrażliwości, wraz z odpowiednią implementacją. Tutaj również Doktorant występuje na pierwszej pozycji na liście autorów, co podkreśla Jego twórczy wysiłek.

W stosunku do całości dorobku Doktoranta zawartego w przedstawionym do oceny cyklu należy podkreślić Jego wielostronne przygotowanie do pracy naukowej i inżynierskiej, wychodzenia naprzeciw konkretnym wyzwaniom konstrukcyjnym i problemom badawczym. Godny uznania jest również przygotowanie programistyczne i w ogólności informatyczne dla przezwyciężenia napotkanych wyzwań.

Wszystkie zamieszczone w przedmiotowym cyklu publikacyjnym artykuły były zapewne starannie zweryfikowane w trakcie recenzowania, co ma odzwierciedlenie w mojej ocenie treści tam zawartych jako napisane w sposób właściwy pod względem systematyki wykładanych zagadnień merytorycznych i pod względem edytorskim. Trudno jest jednak komentować warsztat naukowy prezentowany przez Doktoranta, gdyż publikacje wchodzące w skład ocenianego cyklu są współautorskie i w tym sensie nie można dokładnie określić Jego wkładu pod tym kątem. Prezentowane koncepcje znajdują swoje odniesienia do literatury światowej, co znalazło swoje odzwierciedlenie w szeroko podpartych referencjami artykułach z ocenianego cyklu, oraz w zestawie bibliograficznym dołączonym do Autoreferatu. Oznacza

to, że uznaje się dokonania Doktoranta jako takie, które korespondują do aktualnych wątków naukowych badań prowadzonych na świecie.

Po lekturze publikacji umieszczonych w recenzowanym cyklu nasuwają się jednak następujące kwestie dyskusyjne:

1. Dlaczego w dobie tak ogromnej popularności metod z zakresu tzw. sztucznej inteligencji Doktorant nie pokusił się ich użycie w ramach np. stosowanych metod rekonstrukcyjnych;
2. Czy warunek przepływu substancji, która jest monitorowana ze stałą prędkością nie dyskwalifikuje przedmiotowego podejścia z większości pól zastosowań?
3. Czy zastosowanie układów FPGA w rozwijanym tomografie nie stanowi bariery finansowej dla możliwego wdrożenia tej konstrukcji?
4. Czy rozpatrywana była alternatywa dla wykorzystania FPGA w układzie akwizycji danych, np. z wykorzystaniem procesorów sygnałowych?
5. Czy rozważane były inne układy FPGA w tym zastosowaniu? Czym zostało umotywowane użycie właśnie tego konkretnego układu?
6. Do Hipotezy badawczej postawionej w Autoreferacie odnosi się właściwie tylko jeden artykuł z cyklu, tzn. publikacja nr [7]. Czy istnieją inne wątki weryfikujące tę hipotezę.
7. Czy ograniczony dość zestaw fantomów użytych do pomiaru jakości uzyskiwanych obrazów upoważnia do wyciągania wniosków co do zweryfikowania hipotezy badawczej?
8. Czy ograniczony zestaw miar jakości uzyskiwanych obrazów po rekonstrukcji upoważnia do wyciągania wniosków co do zweryfikowania hipotezy badawczej?

Odrębna uwaga dotyczy Autoreferatu dołączonego do cyklu publikacji. Jakkolwiek opis tam zawarty ułatwia studiowanie treści umieszczone w poszczególnych publikacjach, to jednak redakcyjnie został on trochę zaniedbany, szczególnie pod względem interpunkcyjnym.

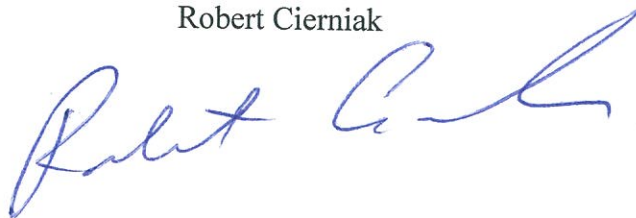
Powyższe dyskusyjne uwagi nie umniejszają jednak znaczenia przeprowadzonych przez Doktoranta badań w poszczególnych elementach składowych i ich znaczenia naukowego i praktycznego.

Stwierdzam w tym miejscu, że cykl publikacji, w których Pan mgr inż. Damian Wanta był współautorem, ze znaczącym wkładem naukowym i inżynierskim, a nazwany wspólnym tytułem *Czasowo-przestrzenne próbkowanie danych w trójwymiarowej elektrycznej tomografii pojemnościowej*, uzyskał u mnie pozytywną ocenę i może **być przyjęty jako podstawa dopuszczenia do obrony pracy.**

Uwagi końcowe

Z uwagi na pozytywną ocenę cyklu publikacji określanego jako rozprawa doktorska Pana Mgra inż. Damiana Wanty uważam, że Kandydat do uzyskania stopnia naukowego doktora spełnia wymagania stawiane przez odnośne przepisy osobom ubiegającym się o ten stopień naukowy w dziedzinie nauk technicznych w dyscyplinie automatyka, elektronika i elektrotechnika. **Stawiam zatem wniosek o dopuszczenie Pana Mgra inż. Damiana Wantę do obrony pracy doktorskiej.**

Robert Cierniak



dr hab. inż. Przemysław Łopato, prof. ZUT
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
Wydział Elektryczny
KETiIS/ Centrum Inżynierii Pól Elektromagnetycznych i Technik Wysokich Częstotliwości
ul. Sikorskiego 37, 70-313 Szczecin

Recenzja rozprawy doktorskiej
Pana mgr. inż. Damiana Wanty
pt. „Czasowo-przestrzenne próbkowanie danych w trójwymiarowej elektrycznej tomografii
pojemnościowej”

1. Podstawa prawna, przedmiot i zakres recenzji

Recenzja została opracowana w związku z uchwałą Rady Naukowej Dyscypliny Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika Politechniki Warszawskiej (uchwała nr 421/II/2022 z dnia 18 października 2022 r.) ws. powołania recenzenta w przewodzie doktorskim mgr inż. Damiana Wanty, realizowanym w dziedzinie nauk technicznych, w dyscyplinie *elektronika*. Przewód został wszczęty przed dniem 30 kwietnia 2019 r., tzn. po wejściu w życie Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r. poz. 1668 z późn. zm.). Zgodnie z zapisami ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r., poz. 1669, art. 179 ust. 3), przewody doktorskie wszczęte od dnia 1 października 2018 r. do dnia 30 kwietnia 2019 r. i niezakończone przed dniem wejścia ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r. poz. 1668), są przeprowadzane na zasadach dotychczasowych.

Zgodnie z § 6 ust. 4 Rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 30 stycznia 2018 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodach doktorskich, w postępowaniach habilitacyjnych oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz. U. z 2018 r., poz. 261), przedłożona recenzja zawiera ocenę rozprawy doktorskiej mgr. inż. Damiana Wanty pod względem spełnienia warunków określonych w art. 13 ust. 1 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2017 r., poz. 1789 z późn. zm.).

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr. inż. Damiana Wanty zatytułowana „Czasowo-przestrzenne próbkowanie danych w trójwymiarowej elektrycznej tomografii pojemnościowej”. Promotorem rozprawy doktorskiej jest dr hab. inż. Waldemar T. Smolik, prof. PW. Przedłożona recenzja zawiera ocenę rozprawy doktorskiej sformułowaną w odniesieniu do dyscypliny naukowej *elektronika*, w dziedzinie nauk technicznych.

2. Charakterystyka rozprawy doktorskiej

Rozwiązanie problemu rozpatrywanego przez mgr. inż. Damiana Wantę w ramach rozprawy doktorskiej zostało przedstawione w formie cyklu artykułów naukowych. W rozprawie wyróżniono następujące części:

- 1) Wyszczególnienie i opis osiągnięć przedłożonych w ramach rozprawy doktorskiej zamieszczone w 33 stronicowym autoreferacie (str. 7 – 39).
- 2) Streszczenia rozprawy w języku polskim i angielskim (str. 5 – 6).
- 3) Zbiór opublikowanych i powiązanych tematycznie siedmiu artykułów naukowych, zgodnie z zestawieniem zamieszczonym na stronach 12 i 13 autoreferatu, składających się na rozwiązanie problemu naukowego – osiągnięcie przedstawione przez Kandydata do oceny. W ramach przedłożonych opracowań można wyróżnić:
 - a) 6 artykułów w czasopismach naukowych posiadających współczynnik wpływu od 1,291 do 5,131 (średnio IF = 3), oraz punkty MEiN od 40 do 200 (średnio około 100 pkt.);
 - b) 1 artykuł w czasopiśmie nieposiadającym współczynnika wpływu, ale posiadającym punktację MEiN: 20 pkt.
- 4) Kopia oświadczeń o udziale autorów w poszczególnych artykułach cyklu (8 stron).

Składające się na rozprawę doktorską artykuły zostały opublikowane w latach 2017 – 2022. Różnorodność tytułów i wydawców, a także wysoka punktacja i współczynnik wpływu czasopism wybranych do publikacji wyników badań uwiarygadniają odpowiedni poziom prac i zachowanie standardów publikacyjnych.

3. Ocena merytoryczna rozprawy doktorskiej

Rozprawa doktorska mgr. inż. Damiana Wanty dotyczy zagadnień związanych z tomografią pojemnościową, a w szczególności: opracowaniem konstrukcji systemu ECT (rozwiązania układowe dotyczące istoty metody pomiaru i systemowo-programistyczne odnoszące się do struktury urządzenia tomograficznego i jego optymalnej pracy), modelowaniem zagadnienia prostego (rozkładu pola elektrycznego w sondzie tomograficznej) oraz szeroko pojętymi metodami obróbki wyników pomiarowych i rozwiązaniem zagadnienia odwrotnego w tym, że związaną z głównym celem pracy, rekonstrukcją trójwymiarowych rozkładów pojemności elektrycznej z czasowo-przestrzennej akwizycji danych w sondzie tomograficznej. Uzyskanie zadowalających parametrów technicznych zaproponowanych rozwiązań (porównywalnych, a w pewnych aspektach lepszych niż prezentowane przez innych autorów) wiąże się z rozwiązaniem szeregu zadań o różnym charakterze więc można powiedzieć, że jest to praca wielopłaszczyznowa. Kandydat nie zajmuje się tylko zagadnieniem rekonstrukcji, co może sugerować tytuł i teza pracy, ale podszedł do tematu kompleksowo i wniósł wkład w niemal wszystkie aspekty opracowywanego w ramach zespołu tomografu pojemnościowego. Niewątpliwie świadczy to o dużej wiedzy teoretycznej oraz bardzo dobrym warsztacie naukowym i technicznym autora rozprawy jak również o możliwości podjęcia przez Kandydata samodzielnej pracy naukowej. Analiza wyników prac przedstawionych w rozprawie doktorskiej pozwala na wyróżnienie kilku, ściśle powiązanych obszarów działań Kandydata. Poniżej odniosę się do każdego z nich.

- 1) *Konstrukcja układów elektrycznej tomografii pojemnościowej oraz dyskusja ich parametrów technicznych pod kątem zastosowania np. w pomiarach przepływów wielofazowych.*

Przedłożona rozprawa doktorska dotyczy projektowania istotnych (z punktu widzenia szybkości działania oraz możliwości pomiarowych) elementów systemów ECT (ang. *Electrical Capacitance Tomography*). Kandydat przedstawił rozwiązanie techniczne, które daje możliwość dynamicznej zmiany konfiguracji parametrów systemu bazującego na FPGA (pozwalającej na adaptowanie się procesu akwizycji w zależności od zmiennych warunków przepływu) oraz zaproponował, przeanalizował i zweryfikował metodę pomiaru zespolonych pojemności międzyelektrodowych, a w wyniku tego pomiarów małych wartości przewodności elektrycznych materiałów ($<1\text{mS}$).

- 2) *Modelowanie numeryczne problemu prostego w tomografii pojemnościowej metodą objętości skończonych* (ang. *Finite Volume Method, FVM*).

Kandydat w ramach prac nad rozprawą rozszerzał możliwości opracowywanego przez zespół prof. Waldemara Smolika oprogramowania do symulacji problemów elektrycznej tomografii pojemnościowej ECTsim. Dokonał modyfikacji metody FVM polegającej na możliwości zastosowania zagęszczonej siatki obliczeniowej o strukturze drzewa czwórkowego. Zaimplementowane rozwiązanie umożliwiło znaczące obniżenie błędów symulacji w porównaniu do jednorodnej, niezagęszczonej siatki przy zachowaniu podobnej liczby elementów siatki oraz akceptowalnym wydłużeniu czasu obliczeń.

- 3) *Opracowanie i weryfikacja metody pomiarowej polegającej na rekonstrukcji obrazów trójwymiarowych z użyciem próbkowania czasowo-przestrzennego.*

Jest to niewątpliwie najważniejszy obszar działań Kandydata (na tyle ważny, że rozprawę doktorską zatytułowano na jego podstawie). Autor zaproponował obliczenia z zastosowaniem rozszerzonej macierzy wrażliwości J składającej się z podmacierzy odpowiadających różnym pozycjom obiektu badanego (w trakcie przepływu). W ramach weryfikacji opracowanego algorytmu Kandydat zaproponował fantom pomiarowy pozwalający określić możliwości rekonstrukcyjne zarówno rozwiązań sprzętowych tomografu jak i metody rekonstrukcji. Zaproponowany algorytm został pozytywnie zweryfikowany – umożliwił wykrycie detalu niewidocznego przy zastosowaniu klasycznej metody rekonstrukcji (bez próbkowania czasowo-przestrzennego).

3.1. Aktualność i ranga poruszanego problemu

Tematyka dotycząca rozwiązań konstrukcyjnych, właściwości, algorytmów rekonstrukcji i problemów pomiarowych w elektrycznej tomografii pojemnościowej, jest szeroko rozwijana w pracach wielu autorów i jest przedmiotem publikacji o charakterze naukowym oraz technicznym w międzynarodowych czasopismach o ugruntowanej renomie (m.in. IEEE Transactions on Magnetics, Measurement, Sensors, IEEE Sensors Journal, Electronics, Measurement Science and Technology, Journal of Sensors, Materials & Design, NDT & E International) jak również przedmiotem zgłoszeń patentowych. Prace nad technologią ECT prowadzone są od wielu lat, pomimo to wciąż pojawiają się nowe artykuły raportujące postępy, szczególnie w zwiększaniu rozdzielczości, jakości rekonstrukcji oraz szybkości działania tej metody obrazowania. Rezultaty przedstawione w rozprawie doktorskiej mieszczą się w nurcie prac prezentowanych w aktualnych publikacjach naukowych. Przedstawiona metoda czasowo-przestrzennego próbkowania danych oraz zaproponowana konstrukcja układu pomiarowego mają duże znaczenie praktyczne, mogą przyczynić się do szerszego zastosowania elektrycznej tomografii pojemnościowej w pomiarach przemysłowych. Ponadto autor proponuje kolejne (do rozwiązania w przyszłości) zagadnienia badawcze związane z tematyką pracy. Podsumowując, temat rozprawy jest aktualny i istotny z punktu widzenia nauk inżynierjno-technicznych.

3.2. Sformułowanie problemu naukowego

Kluczowym zagadnieniem i głównym celem rozpatrywanym w rozprawie doktorskiej jest opracowanie i weryfikacja metody pomiarowej polegającej na rekonstrukcji obrazów trójwymiarowych z użyciem próbkowania czasowo-przestrzennego w elektrycznej tomografii pojemnościowej. Jasno i poprawnie sformułowany cel główny został rozszerzony o pewne zagadnienia (moim zdaniem można by je nazwać celami dodatkowymi) pośrednio wpływające na końcowy efekt rekonstrukcji: opracowanie fantomu pomiarowego do określania rozdzielczości przestrzennej obrazów, implementacja i przeprowadzenie obliczeń metodą FVM z zagęszczoną siatką oraz zastosowanie pewnych rozwiązań układowych umożliwiających optymalne pomiary tomograficzne. Wymieniony cel i kierunki przeprowadzonych prac zostały określone by udowodnić tezę przyjętą przez mgr inż. Damiana Wantę (str. 11 autoreferatu): *rekonstrukcja na podstawie danych otrzymanych z czasowo-przestrzennej akwizycji pozwala uzyskać lepsze jakościowo obrazy niż rekonstrukcja na podstawie danych z pojedynczego pomiaru trójwymiarowej elektrycznej tomografii pojemnościowej*.

Przedstawiona teza zdefiniowana została poprawnie. W największym stopniu odnosi się do pracy nr 7 cyklu stanowiącej kulminację badań. Co prawda we wcześniejszych pracach cyklu (1-6) koncepcja akwizycji czasowo-przestrzennej nie pojawia się, ale nie ulega wątpliwości, że bez wyników i rozwiązań uzyskanych w ramach wcześniejszych prac opracowanie tytułowej metody byłoby utrudnione lub nawet niemożliwe.

Pozytywnie oceniam przyjęty cel i zakres pracy. Sposób sformułowania problemu badawczego uważam za właściwy. Kandydat zrealizował cel główny i zagadnienia rozszerzające oraz potwierdził postawioną tezę w przedstawionym do oceny cyklu publikacji.

3.3. Sposób rozwiązywania problemu, zastosowane metody i narzędzia, metodologia prac

Metodyka przeprowadzonych prac badawczych jest właściwa, poprawna ze względu na założony cel pracy. W odniesieniu do obszaru działań Kandydata dotyczącego konstrukcji układów elektrycznej tomografii pojemnościowej (przedstawiono w pracach 1, 2, 3, 5 i częściowo 6) autor rozprawy opracował oprogramowanie sterujące (w języku assemblera) dla kart odczytu danych sterowanych przez procesory programowe PicoBlaze (uruchomione z wykorzystaniem układu FPGA). W ramach tego działania zaimplementowane zostały funkcje komunikacyjne, sterowanie pomiarem, regulacja poziomu wzmacnień wzmacniaczy ładunkowych dla poszczególnych par elektrod, procedura rotacji wzmacnień w wielopięściennych sondach trójwymiarowych oraz metoda dynamicznej rekonfiguracji. Najszerzej (wraz z kluczowymi fragmentami kodu) przedstawiono powyższe działania w pracy nr 5. Wprowadzone zmiany w strukturze rozwijanego tomografu pojemnościowego zostały poprawnie zweryfikowane w toku pomiarów. Kontynuując ten sam obszar działań Kandydata, podkreślić należy zaproponowaną przez Niego w pracy nr 6 metodę pomiaru zespolonych pojemności międzyelektrodowych umożliwiającą w rezultacie

pomiary małych wartości przewodności elektrycznych materiałów ($<1\text{mS}$). W ramach powyższej metody, dana para elektrod jest wzbudzana za pomocą prostokątnego sygnału napięciowego. Odpowiedzi (na wyjściu integratora) wynikające ze stanu nieustalonego są rejestrowane. Za pomocą analizy Laplace'a wyznaczono odpowiedź układu na zadane wymuszenie a następnie wyprowadzono zależności analityczne (2.1) i (2.2) na pojemność i przewodność badanego obiektu. We wzorach tych powyższe wielkości fizyczne zależą od stosunkowo łatwych do wyznaczenia parametrów uzyskanej odpowiedzi czasowej, takich jak np. amplitudy lub pola powierzchni pod poszczególnymi częściami sygnału odpowiedzi. Otrzymywane sygnały czasowe dla admitancji o charakterze pojemnościowo-rezystancyjnym zostały przebadane za pomocą symulacji obwodowych (w środowisku Simulink), natomiast cała metoda została zweryfikowana przez symulacje numeryczne. Zadanie odwrotne rozwiązane zostało zmodyfikowaną metodą Levenberga-Marquardta z eksperymentalnie dobranym parametrem regularyzacji.

W odniesieniu do działań Kandydata dotyczących analizy numerycznej problemu prostego w tomografii pojemnościowej, autor rozszerzał możliwości oprogramowania ECTsim (Toolbox w środowisku Matlab). Zaimplementował metodę objętości skończonych FVM oraz dokonał jej modyfikacji polegającej na możliwości zastosowania zagęszczonej siatki obliczeniowej o strukturze drzewa czwórkowego. Siatka zagęszczana jest w miejscach, w których przewidywany będzie największy gradient pola elektrycznego, tj. na granicach obiektów z wymuszeniem potencjału elektrycznego, zakrzywionych i szybko zmiennych granicach domen, obszarach zawierających duże różnice w przenikalnościach lub przewodnościach elektrycznych. Zaimplementowano metodę bisekcji, czyli podziału elementu obliczeniowego znajdującego się na niejednorodnym obszarze na mniejsze części tak długo, aż każdy mniejszy element będzie obejmował jednorodny obszar lub osiągnięty zostanie minimalny rozmiar elementu. Dla zaproponowanych zagęszczonych siatek przeprowadzono obliczenia i na podstawie rozkładów pola elektrycznego, czy map czułości, porównano wyniki w stosunku do rezultatów uzyskanych z użyciem siatek równomiernych o podobnej liczbie elementów. Zaimplementowane rozwiązanie umożliwiło znaczące obniżenie błędów symulacji w porównaniu do jednorodnej, niezagęszczonej siatki przy zachowaniu podobnej liczby elementów siatki oraz akceptowalnym wydłużeniu czasu obliczeń.

W odniesieniu do najważniejszego obszaru działań Kandydata - opracowania i weryfikacji metody pomiarowej polegającej na rekonstrukcji obrazów trójwymiarowych z użyciem próbkowania czasowo-przestrzennego, autor zaproponował obliczenia z zastosowaniem rozszerzonej macierzy wrażliwości J składającej się z podmacierzy odpowiadających różnym pozycjom obiektu badanego (zmieniającym się w trakcie przepływu). Liczba podmacierzy zależy od rozdzielczości czasowej tomografu, a więc i szybkości jego działania (na co wpływ miały wcześniej opisane działania Kandydata). Wyniki pomiarów pojemności międzyelektrodowych przeprowadzonych dla różnych położenia badanego obiektu są również łączone w jeden rozszerzony wektor danych D . Problem odwrotny sformułowano jako rozwiązanie układu równań (3.1): $J\varepsilon=D$, gdzie ε to macierz przenikalności elektrycznych. Zadanie odwrotne rozwiązane zostało zmodyfikowaną iteracyjną metodą Levenberga-Marquardta (macierz Jakobiego była wyznaczana tylko w wybranych krokach) i podobnie jak wcześniej z eksperymentalnie dobranym parametrem regularyzacji. W ramach weryfikacji opracowanego algorytmu Kandydat zaproponował fantom pomiarowy pozwalający określić możliwości rekonstrukcyjne zarówno rozwiązań sprzętowych tomografu jak i metody rekonstrukcji. Fantom kończył ewaluację rozdzielczości zarówno w osi wzdłużnej sondy jak i w płaszczyźnie poprzecznej. Szacowanie rozdzielczości przeprowadzono z użyciem funkcji przenoszenia modulacji (ang. *Modulation Transfer Function*, MTF). Zaproponowany algorytm został pozytywnie zweryfikowany pomiarowo – umożliwił wykrycie detalu niewidocznego przy zastosowaniu klasycznej metody rekonstrukcji (bez próbkowania czasowo-przestrzennego).

Autor rozprawy zastosował właściwe narzędzia i metody badawcze.

3.4. Elementy oryginalne, rezultaty prac

Wyniki prac zaprezentowanych w ramach rozprawy doktorskiej mgr. inż. Damiana Wanty stanowią oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Za główne osiągnięcia mgr. inż. Damiana Wanty przedstawione w ramach rozprawy doktorskiej uważam:

- 1) opracowanie metody rekonstrukcji obrazów trójwymiarowych z wykorzystaniem próbkowania czasowo-przestrzennego w tomografii ECT i eksperymentalne potwierdzenie jej właściwości w odniesieniu do innych rozwiązań;
- 2) zaproponowanie metody pomiaru zespolonej pojemności i pośrednio przewodności elektrycznej między elektrodami sondy ECT z zastosowaniem wymuszenia w postaci prostokątnych impulsów napięciowych;
- 3) implementacja i weryfikacja algorytmu zagęszczania siatki obliczeniowej w metodzie objętości skończonych stosowanej do problemu elektrycznej tomografii pojemnościowej;
- 4) opracowanie, implementacja i weryfikacja metody dynamicznej rekonfiguracji systemu elektrycznej tomografii pojemnościowej umożliwiającej adaptację próbkowania do zmieniających się warunków przepływu;
- 5) opracowanie i weryfikacja uniwersalnego fantomu testowego w kształcie liści koniczyny do aproksymacji funkcji przenoszenia modulacji (MTF) i oceny rozdzielczości przestrzennej obrazów 3D w elektrycznej tomografii pojemnościowej.

Dodatkowym czynnikiem przemawiającym za pozytywną oceną rozprawy jest nowatorski i zarazem praktyczny charakter rozwiązań. W toku prowadzonych badań opracowane zostały nowe rozwiązania techniczne, na podstawie których w 2021 roku dokonano zgłoszenia trzech współautorskich wniosków patentowych dotyczących elektrycznej tomografii pojemnościowej. We wszystkich tych wnioskach Kandydat jest pierwszym autorem. Zgłoszenia te nie są formalnie częścią cyklu.

3.5. Wiedza z zakresu tematyki pracy i odwołanie się do innych prac

Rozprawa bazuje na zbiorze publikacji, stąd dyskusja dotycząca prezentowanych w literaturze rozwiązań technicznych systemów pomiarowych i sond tomograficznych, metod modelowania numerycznego problemów elektrycznej tomografii pojemnościowej, czy też zastosowania zaawansowanych metod analizy danych i rekonstrukcji obrazów jest rozproszona w ramach autoreferatu i artykułów przedstawionego cyklu. O ile przekrojowe omówienie problematyki poruszanej rozprawy jest rozproszone, to podkreślić należy, że Kandydat korzystał z licznych i aktualnych prac związanych z tematyką rozprawy. Analiza źródeł (w tym literatury światowej) i stanu wiedzy została przeprowadzona w sposób poprawny i wskazuje na dużą wiedzę Kandydata z zakresu tematyki rozprawy.

3.6. Ocena udziału Kandydata w przedstawionych osiągnięciach naukowych

Wszystkie osiągnięcia składające się na rozprawę doktorską (7 artykułów naukowych) są współautorskie. W poszczególnych artykułach występuje od 3 do 7 autorów (średnio 5, w tym Kandydat i jego opiekun naukowy dr hab. inż. Waldemar Smolik, prof. PW). Pozycje cyklu ustawione są w kolejności od najstarszych do najnowszych. Widoczny jest rosnący wkład Kandydata w prace zespołu. Od czwartej publikacji Kandydat jest pierwszym autorem z najwyższym wśród współautorów udziałem procentowym z zakresu 25-35% (zgodnie z deklaracjami autorów), co w przypadku takiej ilości współautorów należy uznać za istotny wkład w badania i przygotowanie publikacji. Merytoryczny udział mgr. inż. Damiana Wanty w opublikowanych pracach jest określony w oświadczeniach podpisanych przez autorów poszczególnych osiągnięć, zamieszczonych na końcu rozprawy doktorskiej. Stwierdzam, że przedstawione informacje dotyczące udziału w pracach wskazują na znaczący udział Kandydata w pracach związanych z opracowaniem konstrukcji tomografu pojemnościowego, algorytmów rekonstrukcji obrazów, algorytmów i narzędzi symulacyjnych oraz przeprowadzeniu pomiarów, wykonaniu symulacji komputerowych i analizie wyników. Zgodnie z przedstawionym zestawieniem udziałów, deklaracjami autorów, osiągnięcia mgr. inż. Damiana Wanty stanowią samodzielną i wyodrębnioną część pracy zbiorowej. Przedmiotem oceny przedstawionej w recenzji są dokonania wskazane jako wyodrębniona część, wyniki osobnej, samodzielnej pracy Kandydata.

4. Uwagi i pytania

Praca wnosi nowe elementy do dyskusji na temat trójwymiarowej elektrycznej tomografii pojemnościowej i jej zastosowania w pomiarach struktur słabo przewodzących oraz procesów technologicznych, np. przepływów wielofazowych. Przedstawione poniżej uwagi i pytania należy traktować jako głos w dyskusji naukowej dotyczącej przedmiotu rozprawy:

- 4.1. W pracy nr 3 cyklu (oraz na str. 19 autoreferatu) Kandydat przedstawia obiekty testowe o kształcie walca wykorzystane do oceny jakości pomiarów wykonywanych tomografem EVT4 z użyciem trójwymiarowej sondy. Przyjęto różne wielkości, przenikalności elektryczne i położenia w przekroju sondy, co uważam za jak najbardziej poprawne. Na jakiej zasadzie dobrano wielkości i przenikalności elektryczne obiektów testowych? Czy wielkości te mają odniesienie do sugerowanego przez Kandydata zastosowania – pomiarów przepływów wielofazowych? Czy Kandydat zastanawiał się jaka najmniejsza przenikalność elektryczna względna obiektu testowego (o założonych w pracy wymiarach) będzie jeszcze wykrywalna przez system na całym przekroju sondy?
- 4.2. W pracy nr 6 cyklu przyjęto założenie, że materiały badane są niedyspersyjne. Czy metoda zaprezentowana przez Kandydata musi używać takiego uproszczenia, tzn. czy istnieje możliwość realizacji sprzętowo-programowej tomografu pojemnościowego, w której zależność parametrów elektromagnetycznych badanego materiału od częstotliwości byłaby wykryta lub wykorzystywana?
- 4.3. W pracy nr 7 cyklu przyjęto założenie zgodnie z którym przesunięcie i rotacja w płaszczyźnie poprzecznej badanego obiektu są małe, wręcz do pominięcia. Jak małe muszą być te czynniki ograniczające zastosowanie zaproponowanej metody? Czy można oszacować wpływ tych czynników?
- 4.4. Załóżmy, że czynniki z pytania 4.3 są znane, np. jesteśmy w stanie zmierzyć lub oszacować występującą rotację i nie jest ona pomijalna. Czy powyższa informacja mogłaby być wykorzystana tak aby zaproponowany algorytm (po pewnej modyfikacji) nie posiadał ograniczenia z punktu 4.3?
- 4.5. Czy Kandydat zastanawiał się nad wykorzystaniem algorytmu optymalizacji (np. algorytmu genetycznego) do wyznaczenia geometrii sondy pomiarowej? Jakie kryteria optymalizacji przyjąłby Kandydat?

5. Komentarz, uwagi dotyczące redakcji pracy

Redakcja pracy nie budzi zasadniczych zastrzeżeń, zwłaszcza że składają się na nią przede wszystkim artykuły naukowe, które podlegały wcześniejszej weryfikacji redakcyjnej. Zamieszczona poniżej lista powinna, w moim przekonaniu, być przydatna przy opracowaniu przez autora kolejnych publikacji.

- 1) Autoreferat, str. 11, wiersz 7: jest *prędkość* powinno być *prędkości*;
- 2) Autoreferat, str. 16, wiersz 11: jest *pikofarad* powinno być *pikofaradów*;
- 3) Autoreferat, str. 20, rysunek 2.3 (b): w opisach osi jest jednostka i wartości, ale brakuje nazwy/oznaczenia wielkości (np. x lub położenie x);
- 4) Autoreferat, str. 23, tytuł rozdziału 2.5: jest *systemu* powinno być *system*;
- 5) Autoreferat, str. 28, wiersz 21: jest *algorytm* powinno być *algorytmu*;
- 6) Artykuł nr 7: Na stronie 5. Autor podaje informację na temat przenikalności elektrycznej materiału (polilaktyd, ang. *polylactic acid*) użytego do wydrukowania fantomu testowego. W tekście podana jest wartość równa 3,5, natomiast na wykresach 12 i 13 wartości maksymalne przenikalności wynoszą równo 3,0;
- 7) Artykuły nr 2, 5, 6 i 7 (wybrane rysunki) – brak jednostek w opisach osi na rysunkach przedstawiających uzyskane rozkłady pojemności.

6. Posumowanie

Przedłożona rozprawa doktorska została wykonana na właściwym poziomie merytorycznym. Przyjęta przez mgr. inż. Damiana Wantę teza rozprawy została udowodniona. Wskazany naukowy cel pracy został osiągnięty. Przedstawione w punkcie 4. uwagi i dodatkowe pytania dotyczą wybranych aspektów pracy. Są one elementem dyskusji naukowej dotyczącej rozpatrywanych, złożonych zagadnień. Nie umniejszają one mojej pozytywnej, wypadkowej ceny przedstawionej rozprawy doktorskiej. Autor rozprawy zastosował właściwe metody badawcze i narzędzia oraz przedstawił oryginalne rozwiązanie problemu.

Stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr. inż. Damiana Wanty pt. *Czasowo-przestrzenne próbkowanie danych w trójwymiarowej elektrycznej tomografii pojemnościowej* **spełnia wymagania** określone w art. 13 ust. 1 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z dnia 21 czerwca 2016 r., poz. 882) w odniesieniu do dyscypliny *elektronika*.

Ze względu na zapisy ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z dnia 30 sierpnia 2018 r., poz. 1669), stwierdzam, że przedstawiona ocena osiągnięć naukowych mgr. inż. Damiana Wanty w przypadku przewodów doktorskich w odniesieniu do obszaru i dziedziny nauk technicznych i dyscypliny *elektronika* (Rozporządzenie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 8 sierpnia 2011 r. w sprawie obszarów wiedzy, dziedzin nauki i sztuki oraz dyscyplin naukowych i artystycznych, Dz.U. z 2011 r. nr 179, poz. 1065), pozostaje niezmieniona w przypadku dziedziny nauk inżynieryjno-technicznych i dyscypliny *automatyka, elektronika i elektrotechnika*, zgodnie z klasyfikacją określoną w Rozporządzeniu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 20 września 2018 r. w sprawie dziedzin nauki i dyscyplin naukowych oraz dyscyplin artystycznych (Dz. U. z dnia 25 września 2018 r., poz. 1818).

Wnioskuje o dopuszczenie mgr. inż. Damiana Wantę do publicznej obrony przedłożonej rozprawy doktorskiej.

Szczecin, 21 grudnia 2022 r.

