

**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*; *Elektronics* (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 $\mu$ 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 wzmacnień 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 uelastyczenia 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 przewyciężenia 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

