

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 inżynierijno-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 rozwiązania 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 wzmocnień wzmacniaczy ładunkowych dla poszczególnych par elektrod, procedura rotacji wzmocnień 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 położeń 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 koniczynowy umożliwia 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.

