

Politechnika Warszawska
Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych

Warszawa, 19 listopada 2018 r.

D z i e k a n a t

Uprzejmie informuję, że na Wydziale Elektroniki i Technik Informacyjnych Politechniki Warszawskiej odbędzie się w dniu 4 grudnia 2018 r. publiczna obrona rozprawy doktorskiej

Mgr. inż. Jacka Kryszyna

temat: „Trójwymiarowa akwizycja danych w elektrycznej tomografii pojemnościowej”

promotor – dr hab. inż. Waldemar Smolik, prof. Politechniki Warszawskiej

recenzenci:

prof. dr hab. inż. Stanisław Gratkowski z Wydziału Elektrycznego Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie,

dr hab. inż. Robert Banasiak z Wydziału Elektrotechniki, Informatyki i Automatyki Politechniki Łódzkiej

Obrona odbędzie się w dniu 4 grudnia 2018 r. w sali 116 na Wydziale Elektroniki i Technik Informacyjnych – Gmach im. Janusza Groszkowskiego, Warszawa, ul. Nowowiejska 15/19; początek godz. 9.00.

Po adresem: www.elka.pw.edu.pl/Wydzial/Rada-Wydzialu/Harmonogram-obron-doktorskich-streszczenia-i-recenzje zapewniony jest na stronie Wydziału dostęp do tekstów streszczenia rozprawy i recenzji, jak również do tekstu rozprawy umieszczonej w Bazie Wiedzy Politechniki Warszawskiej.

Dziekan



prof. dr hab. inż. Krzysztof Zaremba

Autor pracy mgr inż. Jacek Kryszyn
Promotor dr hab. inż. Waldemar Smolik, prof. Politechniki Warszawskiej
Tytuł pracy:
„Trójwymiarowa akwizycja danych w elektrycznej tomografii pojemnościowej”

Streszczenie:

W niniejszej rozprawie doktorskiej przedstawiono trójwymiarową akwizycję danych w elektrycznej tomografii pojemnościowej. Omawiana technika obrazowania pozwala na rekonstrukcję przestrzennego rozkładu przenikalności elektrycznej na podstawie pomiarów pojemności między elektrodami czujnika. Na ogół elektrody mają wysokość równą co najmniej promieniowi sondy pomiarowej, a więc rekonstruowane przekroje są uśrednieniem wzdłuż osi Z, co może być źródłem błędu przy obrazowaniu rozkładu przenikalności elektrycznej zmiennej w tym kierunku. Możliwe jest zastosowanie trójwymiarowych czujników posiadających elektrody w wielu płaszczyznach, pozwalające na bezpośrednią rekonstrukcję trójwymiarowego rozkładu znajdującego się w objętości elektrod. Wielu badaczy poddaje jednak w wątpliwość możliwość zastosowania takiego obrazowania ze względu na bardzo małe wartości pojemności międzyelektrodowych, a także znaczny czas rekonstrukcji. W niniejszej rozprawie postawiono i wykazano następujące tezy:

- stosunek sygnał-szum osiągnięty w systemie akwizycji danych EVT4 (większy niż 10 dB dla pojemności w zakresie powyżej 1 fF) umożliwia pomiary za pomocą sondy trójwymiarowej;
- zastosowanie trójwymiarowej akwizycji danych w elektrycznej tomografii pojemnościowej pozwala uzyskać trójwymiarowy rozkład przenikalności elektrycznej w procesie dynamicznym o lepszej jakości w stosunku do akwizycji dwuwymiarowej.

W pracy zaprezentowano metodę pomiaru małych pojemności single-shot high-voltage (SSHV), która dzięki zastosowaniu pojedynczego impulsu o wysokiej amplitudzie oraz nadpróbkowaniu pozwala uzyskać pomiary pojemności w zakresie od 1 fF do 1 pF o stosunku sygnał-szum od ponad 10 dB do ponad 60 dB, jednocześnie zapewniając czas pomiaru wynoszący około 50 μ s. Następnie przedstawiono system akwizycji danych EVT4 wykorzystujący powyższą metodę pomiarową. Dzięki zastosowaniu szybkich układów cyfrowych oraz modułowej budowie możliwa jest akwizycja obrazów z prędkością 312 obrazów na sekundę dla sondy 32-elektrodowej. Przedstawiono sposób modelowania trójwymiarowej sondy pomiarowej, której pojemności międzyelektrodowe mieszczą się w zakresie pomiarowym metody SSHV. Zaprezentowane zostały pomiary stworzoną sondą trójwymiarową, pokazujące wrażliwość metody SSHV na małe zmiany przenikalności elektrycznej w przestrzeni. Pozwoliło to wnioskować, że parametry metody SSHV są wystarczające, aby umożliwić trójwymiarowe obrazowanie, co wykazuje pierwszą tezę.

W dalszej części pracy przedstawiono eksperyment, który miał na celu porównać obrazowanie dwuwymiarowe z trójwymiarowym. Zasymulowano oraz dokonano pomiarów rzeczywistych obiektu przemieszczającego się wzdłuż sondy dwuwymiarowej oraz trójwymiarowej, a następnie zrekonstruowano dwuwymiarowe i trójwymiarowe rozkłady przenikalności elektrycznej. W przypadku sondy 2D trójwymiarowe rozkłady przenikalności elektrycznej otrzymano poprzez interpolację z wielu przekrojów 2D uzyskanych w kolejnych akwizycjach. Oceniono otrzymane rozkłady przy pomocy błędu średniokwadratowego, który był niższy dla obrazowania trójwymiarowego. Jednocześnie oceniono, że tomografia trójwymiarowa charakteryzuje się większą rozdzielczością czasową obrazowania trójwymiarowego, a zatem takie obrazowanie jest lepsze jakościowo, co wykazuje drugą tezę.

tytuł, stopień, imię i nazwisko

dr hab. inż. Robert Banasiak

data

Łódź, dn. 12.10.2018

miejsce pracy:

Instytut Informatyki Stosowanej

Wydział Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki

Politechnika Łódzka

KWESTIONARIUSZ-RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ DLA

RADY WYDZIAŁU ELEKTRONIKI i TECHNIK INFORMACYJNYCH POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

Tytuł rozprawy: Trójwymiarowa akwizycja danych w elektrycznej tomografii pojemnościowej.

Autor rozprawy: mgr inż. Jacek Kryszyn

Promotor rozprawy: dr hab. inż. Waldemar Smolik, prof. PW

- 1. Jakie zagadnienie naukowe jest rozpatrzone w pracy /teza rozprawy/ i czy zostało ono dostatecznie jasno sformułowane przez autora? Jaki charakter ma rozprawa (teoretyczny, doświadczalny, inny)?**

W przedstawionej do recenzji rozprawie doktorskiej mgr-a inż. Jacka Kryszyna przeprowadzono badania nad przestrzennym pomiarem pojemności w systemie elektrycznej tomografii pojemnościowej (ang. ECT), z wykorzystaniem nowej metody pomiaru pojemności SSHV, autorskiego systemu akwizycji danych EVT4, nowej konstrukcji sondy pojemnościowej wielopierscieniowej oraz autorskiego oprogramowania do przetwarzania i rekonstrukcji obrazów tomograficznych. Istotą przedstawionego w pracy problemu badawczego jest dokładny, stabilny i wolny od zaszumienia pomiar małych pojemności, jakie spotyka się w wielopierscieniowych sondach pojemnościowych, w szczególności dla odległych od siebie elektrod. Dyskutowana w rozprawie nieinwazyjna metoda obrazowania procesów przemysłowych umożliwia, przy zastosowaniu specjalizowanego sprzętu oraz aparatu matematycznego, zbudowanie przestrzennego rozkładu parametrów badanego obiektu (np. rozkładu przenikalności elektrycznej) na podstawie sekwencyjnych pomiarów pojemności. Uzyskane przy pomocy systemu elektrycznej tomografii pojemnościowej dane pomiarowe mogą być wykorzystane bezpośrednio lub pośrednio jako zrekonstruowane obrazy, do diagnostyki i kontroli procesów przemysłowych.

Doktorant wykazuje w swojej pracy, iż w systemach pomiarowych ECT stosuje się powszechnie konfiguracje układów elektrod o wysokości odpowiadającej promieniowi rury montażowej czujnika ECT, a zatem płaskie obrazy zrekonstruowanych przekrojów są uśrednieniem rozkładu parametrów procesu przemysłowego. Może to być źródłem błędu obrazowania rozkładu przenikalności elektrycznej zmiennego w czasie i przestrzeni. W celu rozwiązania tego problemu mgr inż. Jacek Kryszyn zaproponował nowatorski model czujnika pojemnościowego o specjalnej strukturze, posiadający elektrody w wielu płaszczyznach, obrócone względem siebie o połowę szerokości, pozwalające na detekcję rozkładu parametrów fragmentu procesu przemysłowego przy pomocy pola elektrycznego znajdującego się w obszarze objętości elektrod. Wielu badaczy poddaje jednak w wątpliwość możliwość zastosowania takiego podejścia ze względu na

bardzo małe wartości pojemności międzyelektrodowych, a także znaczny czas rekonstrukcji trójwymiarowych obrazów, na co Doktorant wskazuje w przeprowadzonych studiach literaturowych. Doktorant również podziela niektóre z tych poglądów definiując swój problem badawczy i stawiając, a następnie udawadniając poniższe tezy:

- stosunek sygnał-szum osiągnięty w systemie akwizycji danych EVT4 (większy niż 10 dB dla pojemności w zakresie powyżej 1 fF) umożliwia pomiary za pomocą sondy trójwymiarowej;
- zastosowanie trójwymiarowej akwizycji danych w elektrycznej tomografii pojemnościowej pozwala uzyskać trójwymiarowy rozkład przenikalności elektrycznej w procesie dynamicznym o lepszej jakości w stosunku do akwizycji dwuwymiarowej.

Zagadnienie naukowe zostało w niniejszej dyzertacji sformułowane jasno i klarownie. Doktorant rozpoczyna swój wywód naukowy od wnikliwej analizy wad i zalet istniejących metod i rozwiązań technicznych w zakresie trójwymiarowego obrazowania w systemach elektrycznej tomografii pojemnościowej. Skupia się tu zarówno na zagadnieniach sprzętowych, jak też na zagadnieniach metrologicznych, oraz na aspektach numerycznych. Wątki badawcze poruszane w pracy (a jest ich kilka) są jednolite i spójne, natomiast nie są hermetycznie oddzielone. Doktorant stara się znaleźć dla nich wiele wspólnych interdyscyplinarnych mianowników natury teoretycznej oraz praktycznej. W opiniowanej rozprawie pomiar małych pojemności i jego metody są powiązane z numeryczną symulacją tomografu pojemnościowego, z zagadnieniem optymalnego doboru parametrów konstrukcji sondy pojemnościowej.

Opiniowana praca doktorska ma charakter doświadczalny. Doktorant w ramach prowadzonych prac badawczych opracował i zbudował stanowisko badawcze systemu elektrycznej tomografii pojemnościowej 3D, w ramach którego skonstruował nowatorski system akwizycji danych EVT4 z dedykowaną dla niego wielopierścieniową sondą pojemnościową. Doktorant przygotował również zestaw testowych fantomów przenikalności elektrycznej. Stanowisko badawcze umożliwiło mgr-owi inż. Jackowi Kryszynowi zrealizowanie szeregu eksperymentów oraz testów omówionych szczegółowo w podrozdziałach 3.5.3, 4.3, 6.1 i 6.2. Przeprowadzone eksperymenty pozwoliły na ewaluację możliwości pomiarowych zaproponowanej metody SSHV, ocenę rozdzielczości czasowej systemu EVT4, jak również pozwoliły porównać rekonstrukcję obrazów 2D i 3D. Do oceny nowej metody SSHV zostały wykorzystane wzorce pojemności, a zrealizowane przez Doktoranta badania wykorzystywały np. ocenę niepewności pomiarowej czy analizę stosunku sygnał-szum. Pomiary pojemności wymagały również dostosowania zakresu pomiarowego systemu akwizycji danych do nowej konstrukcji sondy pojemnościowej. Poziom sygnał w poszczególnych kanałach pomiarowych jest zależny od odległości elektrody pomiarowej od elektrody wymuszającej. Dobór wzmocnienia kanałów pomiarowych pozwala zwiększyć poziom sygnału podczas pomiaru przeciwnieległych elektrod i zapobiega nasyceniu wzmacniacza podczas pomiaru sąsiednich elektrod. Doktorant proponuje tu zastosować indywidualny dynamiczny dobór wzmocnień poszczególnych kanałów pomiarowych, wskazując również na fakt, iż zastosowanie takiego podejścia ma również wpływ na stosunek sygnał-szum. W pracy zostało również zawarte porównanie metody SSHV z innymi znanymi w tomografii elektrycznej metodami, takimi jak: charge-discharge czy AC (sinusoidalne wymuszenie + analogowa demodulacja).

2. **Czy w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł / w tym literatury światowej stanu wiedzy i zastosowań w przemysśle / świadczący o dostatecznej wiedzy autora. Czy wnioski z przeglądu źródeł sformułowano w sposób jasny i przekonujący?**

Przegląd literatury Doktorant zamieścił w Rozdziałach 2 i 3. Analiza źródeł w opiniowanej rozprawie została przygotowana w oparciu o 106 pozycji literaturowych z lat 1988 – 2018, dodatkowo w pracy zastosowano odniesienie do klasycznej pozycji Kaczmarza z 1937 r., wyznaczającej matematyczne fundamenty procesu rekonstrukcji obrazów. **Doktorant dokonał zatem, moim zdaniem, bardzo kompleksowego przeglądu literatury, biorąc pod uwagę fakt, iż historia tomografii procesowej zamyka się właśnie w ostatnich 30 latach rozwoju przemysłowych metod obrazowania.**

Studia literaturowe w recenzowanej pracy zostały przeprowadzone indywidualnie dla każdego z realizowanych w opiniowanej pracy wątków naukowych. Czytelnik odnajdzie zatem odrębny przegląd literatury dotyczący trójwymiarowej elektrycznej tomografii pojemnościowej (podrozdziały 2.1–2.6), odrębny stan wiedzy związany z metodami pomiaru małych pojemności (podrozdziały 3.1-3.4) a także dyskusję nad istniejącymi rozwiązaniami systemów akwizycji danych (podrozdział 4.1). Na uwagę zasługuje fakt, iż autor rozprawy dokonał również analizy źródeł w zakresie zastosowań elektrycznych metod obrazowania (podrozdział 2.5). Wykorzystane w niniejszej rozprawie odniesienia są trafne i dotyczą osiągnięć światowych oraz krajowych skupiają się zarówno na licznych publikacjach w recenzowanych czasopismach, krajowych i zagranicznych z dziedziny elektroniki, metrologii i automatyki. Mgr inż. Jacek Kryszyn zamieścił ponadto odniesienia do materiałów konferencyjnych międzynarodowych sympozjów oraz kongresów poświęconych tomografii procesowej. W opiniowanej pracy można odnaleźć referencje również do kilku prac doktorskich i habilitacyjnych z dziedziny tomografii procesowej.

Przegląd literatury dokonany przez autora rozprawy jest obszerny i wnikliwy. Doktorant eksponuje i podkreśla indywidualny wkład naukowców oraz zespołów badawczych w rozwój elektrycznej tomografii pojemnościowej przekroju i trójwymiarowej. W szczególności w niniejszej rozprawie zostały pokazane pionierskie rozwiązania w zakresie rozwoju trójwymiarowej elektrycznej tomografii pojemnościowej (zespół badawczy z USA kierowany przez profesora L-S Fana). **Należy tu również docenić fakt, iż Doktorant nie pomija w tej analizie wagi badań naukowych prowadzonych przez polskie ośrodki naukowe.** W opiniowanej rozprawie doktorskiej zamieszczone mgr inż. Jacek Kryszyn powołuje się również na własne publikacje.

3. Czy autor rozwiązał postawione zagadnienia, czy użył właściwej do tego metody i czy przyjęte założenia są uzasadnione?

Główne problemy badawcze, postawione przed autorem rozprawy, to: poprawa efektywności metody elektrycznej tomografii pojemnościowej w zakresie pomiaru małych pojemności oraz wykazanie jej większej skuteczności wizualizacyjnej w porównaniu do tomografii pojemnościowej przekroju. Doktorant, moim zdaniem, poprawnie rozwiązał postawione zagadnienia przeprowadzając we właściwej kolejności: wstępne rozważania teoretyczne, następnie symulacje i analizy komputerowe a następnie weryfikację rozwiązań w rzeczywistym stanowisku badawczym. Przyjęte przez Doktoranta założenia są prawidłowe i uzasadnione. Wynikają one między innymi z często podkreślanego w literaturze światowej faktu, iż trójwymiarowa tomografia pojemnościowa to wciąż niedojrzała technika diagnostyczna z wieloma nierozwiązanymi problemami i dużym potencjałem na dalszy rozwój.

W celu weryfikacji zaproponowanych rozwiązań Doktorant zaprojektował i zaimplementował stanowisko badawcze składające się z systemu pomiarowego EVT4, dedykowanej sondy pomiarowej oraz fantomów symulujących obiekty o właściwościach elektrycznych. Dzięki zastosowaniu szybkich układów cyfrowych oraz modułowej budowie możliwa jest akwizycja obrazów o dużej rozdzielczości czasowej (312 obrazów na sekundę dla sondy 32-elektrodowej). W rozprawie przedstawiono również proces modelowania komputerowego i eksperymentalną konstrukcję trójwymiarowej sondy pomiarowej, której pojemności międzyelektrodowe mieszczą się w zakresie pomiarowym metody SSHV. Autor zastosował tu strategię projektowania sond pojemnościowych, która ogranicza wartość pojemności sąsiednich elektrod oraz, co należy podkreślić, ogranicza również współczynnik uwarunkowania macierzy wrażliwości liniowego modelu rekonstrukcji obrazów 3D. Opracowane stanowisko badawcze zostało wykorzystane do wykonania serii pomiarów pojemności w celu zbadania rozkładu zmian wrażliwości metody SSHV na małe zmiany przenikalności elektrycznej. Przeprowadzone eksperymenty wykazały, że w odpowiednio zaprojektowanej sondzie pojemnościowej 3D możliwa jest rejestracja zmian pojemności dla par najodleglejszych wzajemnie elektrod. **Pozwoliło to Doktorantowi wnioskować, iż parametry metody SSHV są wystarczające, aby poprawić skuteczność pomiarową metody 3D ECT, a co za tym idzie wykazać pierwszą тезę rozprawy.**

W celu wykazania drugiej tezy rozprawy Doktorant przeprowadził szereg eksperymentów porównujących elektryczną tomografią pojemnościową przekroju i trójwymiarową. Należy tu podkreślić, iż autor rozprawy rozważa potencjalne zastosowaniu systemów elektrycznej tomografii pojemnościowej dla potrzeb obrazowania przepływów wielofazowych. Doktorant zarówno zasymulował komputerowo oraz dokonał eksperymentalnych pomiarów właściwości elektrycznych obiektu przemieszczającego się wzdłuż sondy dwuwymiarowej oraz trójwymiarowej. Końcowym etapem tego eksperymentu była dwuwymiarowa i trójwymiarowa rekonstrukcja rozkładów przenikalności elektrycznej. W przypadku sondy z jednym pierścieniem elektrod trójwymiarowe rozkłady przenikalności elektrycznej otrzymano poprzez interpolację obrazów z wielu przekrojów, uzyskanych w kolejnych akwizycjach, zarówno dla obiektów statycznych, jak i obiektów w ruchu. Doktorant dokonał oceny otrzymanych rozkładów przenikalności elektrycznej przy pomocy błędu średniokwadratowego. **We wnioskach do tej części rozprawy Doktorant wskazuje, iż trójwymiarowa elektryczna tomografia pojemnościowa oferuje poprawę rozdzielczości czasowej w stosunku do tomografii przekroju. Dowodzi to według Doktoranta słuszności drugiej postawionej w rozprawie tezy.**

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

Opiniowana rozprawa doktorska poświęcona jest rozwojowi trójwymiarowych nieinwazyjnych metod obrazowania dla potrzeb monitorowania i diagnostyki procesów przemysłowych. Metody te, choć mają za sobą niemal 15 lat historii, są wciąż niedoskonałe, niedostosowane do oczekiwań przemysłu i wymagają nieustannej rewizji i ulepszania. Wiele prac badawczych zostało w tym zakresie już zrealizowanych – co autor rozprawy wykazał w studiach literaturowych, natomiast warto tu podkreślić, iż dotychczasowe rozwiązania opierały się na znanych z tomografii pojemnościowej 2D (przekroju) metodach, a w szczególności na sprężeniu i jego architekturze. Jak trafnie wskazuje autor bezpośrednia transformacja systemów pomiarowych ECT, dostosowanych do sond jednopierścieniowych, nie pozwala wykorzystywać pełnego potencjału obrazowania trójwymiarowego z powodu trudności w stabilnym, wolnym od szumu i zakłóceń, pomiarze pojemności z zakresu femtofaradów. Wiele naukowców poddaje również w wątpliwość fakt, czy tomografia 3D ECT posiada jakiegokolwiek zalety w stosunku do wykorzystywanej już w aplikacjach przemysłowych tomografii 2D ECT. Doktorant, w celu rozwiązania tego problemu, proponuje nową metodę pomiaru małych pojemności opartą o technikę single-shot high-voltage (SSHV), która dzięki zastosowaniu pojedynczego impulsu napięciowego o wysokiej amplitudzie oraz nadpróbkowaniu pozwala uzyskać pomiary pojemności w zakresie od 1 fF do 1 pF o SNR z zakresu od 10 dB do 60 dB, jednocześnie zapewniając bardzo krótki czas pomiaru wynoszący około 50 μ s. Nowa metoda pomiarowa, w połączeniu z optymalnie dobranymi parametrami czujnika pojemnościowego, umożliwia dokładniejszą ilościowo i jakościowo wizualizację komponentów procesu przemysłowego. Kolejnym ważnym osiągnięciem doktoranta jest opracowana, zaimplementowana i zweryfikowana eksperymentalnie architektura systemu akwizycji danych EVT4, a także nowa konstrukcja sondy pojemnościowej 3D. Podsumowując, samodzielny istotny wkład Doktoranta do dziedziny tomografii procesowej, można moim zdaniem zapisać jako:

- Poprawę dokładności pomiaru pojemności w systemach elektrycznej tomografii pojemnościowej w zakresie femtofaradów co stanowi znaczący rozwój metod pomiarowych w systemach elektrycznej tomografii pojemnościowej;
- Opracowanie i weryfikację metody SSHV w rzeczywistym systemie pomiarowym;
- Optymalizacja struktur nowych sond pojemnościowych 3D w oparciu o możliwości metody pomiarowej SSHV oraz modelowanie numeryczne;
- Poprawa stref wrażliwości czujnika oraz zwiększenie efektywności rekonstrukcji rozkładu przenikalności elektrycznej z wykorzystaniem dokładniejszego pomiaru pojemności, w porównaniu do wcześniej stosowanych rozwiązań.

Zaproponowane niniejszej rozprawie doktorskiej rozwiązania są oryginalne w dziedzinie tomografii procesowej i stanowią moim zdaniem istotny wkład Doktoranta w tę dziedzinę nauki.

Przedstawione, w opiniowanej pracy osiągnięcia, były prezentowane na międzynarodowych konferencjach dotyczących tomografii procesowej (światowych kongresach WCPT 8 i 9, licznych sympozjach i warsztatach). Zespół naukowy, z którego autor rozprawy się wywodzi, ma uznaną pozycję na arenie międzynarodowej. Nie ma żadnych wątpliwości, iż przedstawione w pracy rozwiązania będą stanowiły fundament dla dalszego postępu w dziedzinie ECT i inspirację dla innych zespołów do jego dalszego rozwoju.

5. Czy autor wykazał umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników / zwiększyć, jasność, poprawność redakcyjną rozprawy/?

Opiniowana rozprawa doktorska reprezentuje dobry poziom redakcyjny. Doktorant swoje wyniki badań oraz wnioski zamieścił w 5 rozdziałach merytorycznych, we wstępie oraz w podsumowaniu i wnioskach. Język zastosowany w rozprawie jest dojrzały naukowo. Cechuje go dobry poziom inżynierski. Należy tu podkreślić fakt, iż mimo szerokiego zakresu merytorycznego i interdyscyplinarnego rozprawy jej autor sprawnie posługuje się terminologią z dziedziny elektroniki, metrologii czy informatyki. Ilustracje w opiniowanej rozprawie są na ogół czytelne (choć można mieć zastrzeżenia rozmiarów i rozdzielczości kilku z nich). Każda ilustracja posiada odniesienie do fragmentu tekstu rozprawy, którego dotyczy. Występują jednak sytuacje, w których odniesienie do rysunku jest moim zdaniem zbyt odległe od samego rysunku co może powodować trudności w zrozumieniu myśli i przekazu autora rozprawy (np. rys. 3.19 strona 66 posiada odniesienie w tekście na stronie 64). Zapewne tego rodzaju niedociągnięcia wynikają z konieczności zarządzania dużą ilością ilustracji uzupełniających treść merytoryczną rozprawy.

6. Jakie są słabe strony rozprawy i jej główne wady?

Recenzent nie dostrzega istotnych wad rozprawy, w jej zakresie merytorycznym, zarówno w części teoretycznej, jak i doświadczalnej. Pewien niedosyt może powodować mało dogłębne porównanie metody SSHV z innymi metodami pomiaru pojemności, zawarte w podrozdziale 3.5.4, sprowadzone do jednej tabelki. Wątpliwości budzi również sposób weryfikacji opracowanych rozwiązań dla potrzeb wizualizacji przepływów – czytelnik spodziewa się tu napotkać stanowisko badawcze związane z diagnostyką przepływów płynów, materiałów sypkich lub mieszanin faz (aplikacje powszechnie omawiane w literaturze przedmiotu). Tymczasem autor przedstawia eksperyment polegający na rekonstrukcji trójwymiarowej informacji o obiektach przemieszczających się wzdłuż osi Z w sondzie na podstawie danych pomiarowych rejestrowanych dwuwymiarowo i trójwymiarowo. Praca niestety nie zawiera: ani wykazu zastosowanych skrótów, ani wykazu stosowanych w rozważaniach matematyczno-fizycznych oznaczeń, specyficznych dla elektrycznego obrazowania pojemnościowego.

Treść recenzowanej rozprawy rodzi również szereg innych uwag dyskusyjnych i szczegółowych:

1. Strona 82 – Autor rozprawy stwierdza: „*Aby zwiększyć próbkowanie obrazu na obwodzie, elektrody w sąsiednich pierścieniach przesunięto o połowę odległości między elektrodami*” – sformułowanie to nie pozwala jednoznacznie stwierdzić, jakie są merytoryczne przesłanki zastosowanie asymetrii pierścieni elektrod względem siebie. Co więcej taki obrót wpływa nie tylko na obszar obwodu sondy ale również zmienia geometrię w osi Z. Czy tego rodzaju wpływ został również rozważony przez Doktoranta? Czy Doktorant dokonał porównania swojej koncepcji z klasycznym, symetrycznym układem wielopierścieniowym? Co autor rozprawy rozumie jako: „*zwiększyć próbkowanie obrazu na obwodzie*”?
2. Rysunek 3.31 – W jaki sposób Doktorant wyznaczył odległość zewnętrznego płaszcza ekranującego od rury montażowej sondy 3D ECT, a w szczególności od elektrod pomiarowych? W zaproponowanym rozwiązaniu ma ona wartość 10mm. Czy zmiana tej odległości, zdaniem Doktoranta, może znacząco wpływać na rozkład pola elektrycznego w obszarze wnętrza sondy?

3. Rysunek 3.35 – przedstawia charakterystykę wzajemnej pojemności elektrod w czujniku 3D dla czterech pozycji badanego obiektu. W trakcie przemieszczania się fantomu w sąsiedztwo par elektrod 1-5, 1-13, 1-21 oraz 1-29 czytelnik może zaobserwować znaczący wzrost znormalizowanej wartości pojemności. Na tej samej charakterystyce czytelnik może również zauważyć, iż sąsiednie pary pomiarowe **odnotowują spadek wartości znormalizowanej wartości pojemności poniżej zera**. Efekt ten występuje powtarzalnie dla par pomiarowych 1-12 oraz 1-13, a także dla par pomiarowych 1-21, 1-23 oraz 1-27. Jak można wytłumaczyć to zjawisko?
4. Nieliniowa rekonstrukcja obrazów trójwymiarowych w 3D ECT w literaturze zazwyczaj opiera się na modelu algorytmicznym iteracyjnej aktualizacji problemu prostego (oraz modelu wrażliwości sondy) przy pomocy zaawansowanych metod numerycznych. W opiniowanej rozprawie autor jednak decyduje się na uproszczenie zagadnienia prostego poprzez zastosowanie modelu liniowego. Czy autor porównywał tomograficzne obrazy 3D uzyskane za pomocą własnego algorytmu oraz algorytmów uwzględniających zaawansowany model zagadnienie prostego?
5. Strona 99 – Autor rozprawy stwierdza: „Zastosowane rozwiązanie liniowego problemu odwrotnego (pseudoodwrotność z regularyzacją) pozwoliło uzyskać obrazy, na podstawie których możliwa jest identyfikacja położenia obiektów. Rozdzielczość przestrzenna obrazów jest jednak zbyt niska, aby zrekonstruować krawędzie obiektu.” W literaturze przedmiotu badań Doktoranta publikowano już rozwiązania implementujące metody poziomkowe w elektrycznej tomografii pojemnościowej. Metody te zostały już zweryfikowane w zakresie rekonstruowania kształtów i granic pomiędzy obszarami o różnych własnościach elektrycznych. Czy autor widzi zatem możliwość weryfikacji tych metod w oparciu o nową metodę pomiarową oraz nową optymalną konstrukcję sondy 3D ECT?
6. W recenzowanej rozprawie autor proponuje i rozwija nowe rozwiązania w zakresie nieinwazyjnego trójwymiarowego obrazowania wymagające dużych mocy obliczeniowych do przetwarzania danych pomiarowych, wyznaczania modeli zagadnienia prostego i odwrotnego. Czy rozważano zastosowanie specjalizowanych urządzeń do przyspieszania obliczeń, zarówno tych zewnętrznych (karty graficzne CUDA i OpenCL), jak i rozwiązań wbudowanych np. Nvidia Jetson?
7. Aplikacje przemysłowe, w których diagnostyka i monitorowanie procesu może zostać realizowane przy pomocy systemu pomiarowego ECT, oczekują od takiego systemu stabilności i powtarzalności w działaniu. W opiniowanej rozprawie taka ocena nie została zawarta. Czy autor rozprawy przeprowadził badania weryfikujące stabilność czasową systemu akwizycji danych EVT4?
8. Znakomita większość prezentowanych w światowej literaturze systemów wizualizacji 3D ECT wykorzystuje wielopierścieniowe sondy pomiarowe wyposażone w układy od 12 do 32 elektrod, nie tylko o przekroju walcowym, ale też o przekrojach prostokątnych (modele silosów), czy też kształtach odpowiadających elementom konstrukcyjnym rurociągów (kolanka czy elementy redukcyjne). Czy architektura systemu EVT4 zaproponowana przez autora rozprawy jest skalowalna i adaptowalna w tym zakresie?
9. Na ilustracjach 6.18 – 6.21 znajdują się przekroje zrekonstruowanych trójwymiarowych rozkładów względnej przenikalności elektrycznej. Do ilustracji, jako legenda, została dołączona mapa kolorów. Czy zamieszczony na niej zakres liczbowy (od 1 do ponad 2.5) odpowiada bezpośrednio zrekonstruowanym wartościom dla poszczególnych wokseli siatki modelu rekonstrukcji 3D (algorytm Levenberga-Marquarda), czy też może zostało zastosowane skalowanie do oczekiwanego zakresu względnej przenikalności elektrycznej zgodnie z zastosowanymi rzeczywistymi lub symulowanymi fantomami?
10. Proces rekonstrukcji obrazów 3D autor rozprawy realizuje przy pomocy trójwymiarowej, sześcienniej, siatki o regularnym układzie elementów. Do wyznaczenia rozwiązania problemu prostego została zastosowana metoda objętości skończonych. Jakże były przesłanki wyboru akurat takiej metody numerycznej?

Praca jest zredagowana na dobrym poziomie, jednakże Doktorant nie ustrzegł się szeregu drobnych błędów edytorskich, interpunkcyjnych i językowych, w szczególności:

1. Słowa kluczowe zawierają dwukrotnie użyty termin „tomografia pojemnościowa”. Jest to nadmiarowe w kontekście zakresu merytorycznego opiniowanej rozprawy, dotyczącego techniki trójwymiarowej;
2. Rys. 3.31 (b i c) jest mało czytelny;
3. Rys. 6.6 – 6.7, 6.18 – 6.21 oraz np. 3.25 i szereg innych – zawierają opisy angielskojęzyczne;
4. Brak legendy (mapy kolorów) dla ilustracji 6.4 i 6.5;
5. Niekonsekwencja w określaniu nazwy elektrody z ustawionym potencjałem – strony 78 i 79;
6. Str. 74, ostatni akapit, zdublowane słowo „około”;
7. Str. 84, przedostatni akapit, błąd stylistyczny „względnej przenikalność elektrycznej”.

Należy jednak zaznaczyć, iż zauważone słabe strony opiniowanej rozprawy doktorskiej, błędy edytorskie i językowe oraz kwestie dyskusyjne, jakie podniósł Recenzent, nie obniżają jej wysokiej wartości naukowej.

7. Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk technicznych?

Tomografia procesowa jest jedną z dziedzin nauki, którą cechuje wysoka interdyscyplinarność. A więc, mamy do czynienia z unikalnym połączeniem wielu nauk technicznych: elektroniki, elektrotechniki, matematyki, automatyki, metrologii oraz informatyki. Z reguły badania naukowe prowadzone w dziedzinie nieinwazyjnego obrazowania procesów przemysłowych łączą w sobie postęp w kilku dziedzinach jednocześnie. W przypadku opiniowanej rozprawy Doktorant proponuje autorskie rozwiązania przede wszystkim w zakresie elektroniki i elektrotechniki (metoda pomiarowa, architektura sprzętowa EVT4, konstrukcja sond pomiarowych), ale także można dostrzec wkład autora w rozwój informatyki (oprogramowanie sterujące tomografu ECTSim 1.1 i 3.0, protokoły transmisji danych, algorytmy modelowania, przetwarzania i wizualizacji danych tomograficznych). Podstawowym celem przedstawionych w opiniowanej rozprawie badań była teoretyczna i eksperymentalna ocena możliwości pomiaru bardzo małych wartości pojemności międzyelektrodowych w sondzie z kilkoma pierścieniami elektrod. Badania te wymagały przede wszystkim opracowania i zweryfikowania nowej metody pomiarowej i zaproponowania koncepcji nowej architektury sprzętowej w postaci systemu akwizycji danych EVT4, wykorzystującego nowoczesne rozwiązania w obszarze elektroniki.

8. Do której z następujących kategorii Recenzent zalicza rozprawę:

- a/ nie spełniająca wymagań stawianych rozprawą doktorskim przez obowiązujące przepisy;
- b/ wymagająca wprowadzenia poprawek i ponownego recenowania;

c/ spełniająca wymagania z wyrażnym nadmiarem;

- e/ wybitnie dobra, zasługująca na wyróżnienie.

9. Wniosek końcowy:

Moim zdaniem cele naukowe rozprawy, jakie postawiono przed Doktorantem, zostały osiągnięte. W trakcie prowadzonych prac badawczych mgr inż. Jacek Kryszyn wykazał się znaczącym zasobem wiedzy i doświadczeniem w zakresie funkcjonowania tomograficznych elektrycznych metod pojemnościowych. Problemy postawione w niniejszej rozprawie Doktorant rozwiązał biele i samodzielnie, wykazując się szeroką wiedzą z elektroniki, ale również interdyscyplinarną wiedzą z pogranicza elektrotechniki, metrologii i informatyki. Doktorant w swojej rozprawie zastosował zaawansowany aparat matematyczno-fizyczny oraz liczne narzędzia numeryczne. Weryfikacja opracowanych rozwiązań została przeprowadzona eksperymentalnie w oparciu o samodzielnie zbudowane stanowisko badawcze. Doktorant jest młodym, aktywnym naukowcem. Jego łączna liczba publikacji wynosi 34. Doktorant brał udział w 5 projektach naukowo-badawczych. Dodatkowo analiza bazy Scopus pozwala stwierdzić wysoką

i regularną aktywność publikacyjną Doktoranta. Według indeksu Scopus Mgr inż. Jacek Kryszyn jest autorem lub współautorem 11 publikacji w takich czasopismach jak: Measurement Science and Technology czy IEEE Sensors Journal. Liczba cytowań autora rozprawy w oparciu o bazę Scopus wynosi 28, a h-index ma aktualnie wartość 3. Należy również podkreślić dobrą aktywność Doktoranta w procesie kształcenia studentów. Pełnił rolę opiekuna 3 prac dyplomowych z zakresu elektrycznej tomografii pojemnościowej.

Pomimo szeregu uwag i kwestii dyskusyjnych, wymienionych w pkt 6, stwierdzam iż przedłożona rozprawa doktorska mgr-a inż. Jacka Kryszyna pt. „*Trójwymiarowa akwizycja danych w elektrycznej tomografii pojemnościowej*” spełnia z nadmiarem wymagania obowiązującej ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym, i w pełni uzasadnia wniosek Doktoranta o nadanie tytułu doktora nauk technicznych w dyscyplinie Elektronika. **Wnoszę więc o dopuszczenie opiniowanej rozprawy do publicznej obrony na Wydziale Elektroniki i Techniki Informatycznych Politechniki Warszawskiej.**

Barasde

Szczecin, 14 września 2018 r.

**RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ DLA RADY WYDZIAŁU
ELEKTRONIKI I TECHNIK INFORMACYJNYCH
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ**

wykonana na podstawie uchwały Rady Wydziału EiTI PW z dnia 26 czerwca 2018 r.
(Umowa o dzieło Nr 2018/1030/10104)

Tytuł rozprawy:

Trójwymiarowa akwizycja danych w elektrycznej tomografii pojemnościowej

Autor rozprawy:

mgr inż. Jacek Kryszyn

1. Jakie zagadnienie naukowe jest rozpatrzone w pracy /teza rozprawy/ i czy zostało ono dostatecznie jasno sformułowane przez autora? Jaki charakter ma rozprawa (teoretyczny, doświadczalny, inny)?

Techniki tomograficzne, takie jak: rezonans magnetyczny (MRI), tomografia emisyjna pozytonowa (PET), tomografia rentgenowska (X-ray), magnetyczna tomografia indukcyjna (MIT), czy też elektryczna tomografia pojemnościowa (ECT) są szeroko stosowane w wielu dziedzinach życia. Wymienione metody tomograficzne różnią się czujnikami i sygnałami wykorzystywanymi do tworzenia obrazów wnętrza badanych obiektów. Czynniki branymi pod uwagę przy wyborze metody tomograficznej do konkretnych zastosowań są m.in.: cena, prędkość akwizycji danych, prędkość tworzenia obrazów, bezpieczeństwo, prostota, rozdzielczość, stosowalność przy badaniu obiektów o różnych kształtach i rozmiarach oraz możliwość tworzenia obrazów trójwymiarowych. Zaletami konwencjonalnej dwuwymiarowej elektrycznej tomografii pojemnościowej są z pewnością niska cena, prędkość, bezpieczeństwo i prostota. Dodatkowo w ostatniej dekadzie ukazało się wiele artykułów wskazujących na możliwość obrazowania trójwymiarowego z wykorzystaniem ECT. Takie zagadnienie jest rozpatrywane w recenzowanej rozprawie.

Autor tej teoretyczno-doświadczalnej pracy postawił sobie za cel ocenę możliwości pomiaru bardzo małych pojemności międzyelektrodowych w sondzie trójwymiarowej oraz porównanie trójwymiarowej elektrycznej tomografii pojemnościowej z jej konwencjonalną – dwuwymiarową wersją. Sformułował dwie tezy:

- stosunek sygnał-szum (SNR) osiągnięty w wielokanałowym systemie akwizycji danych EVT4 (większy niż 10 dB dla pojemności w zakresie powyżej 1 fF) umożliwia pomiary za pomocą sondy trójwymiarowej;
- zastosowanie trójwymiarowej akwizycji danych pozwala uzyskać trójwymiarowy rozkład przenikalności elektrycznej o lepszej jakości niż przy akwizycji dwuwymiarowej.

2. Czy w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł /w tym literatury światowej, stanu wiedzy i zastosowań w przemyśle/ świadczący o dostatecznej wiedzy autora. Czy wnioski z przeglądu źródeł sformułowano w sposób jasny i przekonujący?

W drugim rozdziale Autor przedstawił przegląd literatury dotyczącej trójwymiarowej elektrycznej tomografii pojemnościowej. Przegląd taki dał Mu możliwość wykazania się ogólną wiedzą w danej dyscyplinie naukowej, co – oprócz rozwiązania zadania naukowego – jest ustawowym wymogiem przypisanym rozprawom doktorskim (Art. 13, pkt 1 obowiązującej do 2018-10-01 *Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 roku*: „Rozprawa doktorska, przygotowywana pod opieką promotora, powinna stanowić oryginalne rozwiązanie problemu naukowego lub artystycznego oraz wykazywać ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w danej dyscyplinie naukowej lub artystycznej, a także umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej lub artystycznej.”). Do przeglądu literaturowego nie mam zastrzeżeń merytorycznych. Doktorant pokazał wysoki poziom ogólnej wiedzy teoretycznej w zakresie tematyki rozprawy. Trzeba też podkreślić, że Autor analizuje źródła także w dalszych rozdziałach rozprawy. W trzecim rozdziale opisał metody pomiaru małych pojemności wykorzystywane w elektrycznej tomografii pojemnościowej, a w części wstępnej czwartego rozdziału przedstawił krótki przegląd systemów akwizycji danych, znanych z literatury, a także oferowanych na rynku przez komercyjnych producentów. Zamieszczona na końcu rozprawy bibliografia zawiera łącznie 107 pozycji. Są to głównie artykuły naukowe opublikowane w okresie ostatnich dwóch dekad.

3. Czy autor rozwiązał postawione zagadnienia, czy użył właściwej do tego metody i czy przyjęte założenia są uzasadnione?

W siódmym rozdziale *Podsumowanie i wnioski* Autor deklaruje, że przedstawione w pracy doktorskiej wyniki badań eksperymentalnych i teoretycznych pokazują poprawność tez rozprawy (patrz punkt 1. recenzji).

Materiał badawczy odnoszący się do pierwszej tezy jest rzeczywiście bardzo obszerny. Doktorant wykazał, że jest możliwa konstrukcja sondy 3D, dla której pojemności między elektrodami będą się mieściły w zakresie pomiarowym układu SSHV oraz że przy odpowiednio zaprojektowanej sondzie 3D można obserwować zmiany pojemności nawet dla par najodleglejszych elektrod.

W przypadku drugiej tezy materiał porównawczy jest niestety bardzo ograniczony. Na stronie 152 Autor stwierdza: „Wyniki przeprowadzonych eksperymentów, polegających na rekonstrukcji trójwymiarowego rozkładu przenikalności elektrycznej w procesie dynamicznym na podstawie danych symulowanych numerycznie jak i fizycznych danych pomiarowych, pokazały, że pomiary z wykorzystaniem sondy 3D pozwalają na uzyskanie minimalnie mniejszego błędu rekonstrukcji w sensie odległości średniokwadratowej do rozwiązania prawdziwego (wzorca) niż pomiary z wykorzystaniem sondy 2D.”. Pojawia się pytanie czy dla innego obiektu testowego wnioski nie będą inne? Nie mam jednak wątpliwości, że Autor zaprezentował bardzo interesującą koncepcję eksperymentu porównującego dwu- i trójwymiarową elektryczną tomografię pojemnościową w obrazowaniu przepływów.

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

Wkład recenzowanej rozprawy do dziedziny elektrycznej tomografii pojemnościowej polega na:

- pokazaniu możliwości mierzenia bardzo małych pojemności,
- opracowaniu systemu akwizycji danych EVT4,
- przedstawieniu koncepcji porównania dwu- i trójwymiarowej elektrycznej tomografii pojemnościowej.

Dwa pierwsze punkty zostały częściowo zaprezentowane społeczności naukowo-technicznej już wcześniej – w publikacjach, których współautorem był Autor rozprawy. W jakiejś mierze zostały one już zatem ocenione i zweryfikowane, ale problemem jest indywidualny wkład Autora rozprawy w ich opracowanie. Odnoszę się do tego w dalszej części recenzji (punkty 6 i 8).

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

Generalnie redakcja rozprawy jest poprawna, niemniej jednak poniżej wypunktuję zauważone niedociągnięcia. Wskazane błędy mają różną wagę. Niektóre są niewątpliwe, choć najczęściej drobne (typowe chochliki drukarskie), ale dopuszczam też oczywiście możliwość, że jakieś sugerowane przeze mnie błędy zostaną uznane za dyskusyjne, czy wręcz niesłuszne. Przy określaniu omawianego fragmentu tekstu pracy będę stosował następującą konwencję: s. 100ⁱ – oznacza i-ty wiersz od góry na stronie 100, zaś 100_i – oznacza i-ty wiersz od dołu na tejże stronie, przy czym przez wiersz należy rozumieć linię z jakimkolwiek znakiem.

W pracy natknąłem się na wiele niepoprawnie sformułowanych zdań. Poniżej podam tylko dwa przykłady. Oddają one istotę moich zastrzeżeń w tym zakresie.

s. 128¹⁶

„Przeprowadzenie eksperymentu za pomocą symulacji 2D ułatwiłoby rekonstrukcję 2D w stosunku do rzeczywistości w przypadku danych symulowanych i z definicji nie oddaje wiernie prawdziwych pomiarów.”

Konia z rzędem temu, kto wyjaśni o co chodzi Autorowi rozprawy w tym zdaniu.

s. 29⁶

„W ten sposób można zidentyfikować regiony pokryte niedostateczną wrażliwością na zmiany przenikalności.”

W tym zdaniu raczej wiem o co chodzi Autorowi, ale „regiony pokryte niedostateczną wrażliwością” to jednak przesadne naginanie języka polskiego, nawet jeżeli założymy, że praca jest przeznaczona dla małej grupy osób posługujących się „własnym” slangiem technicznym.

Kompletnie nie rozumiem dlaczego Autor wielokrotnie przytacza w nawiasach terminy angielskie przy ich polskich odpowiednikach. Przecież wystarczyłoby to zrobić raz, a i to w niektórych przypadkach uważam za zbędne. Wybrane przykłady:

s. 42₁₇₋₁₆ – „metodę częstotliwościową (ang. AC method)”,

s. 42₇ – „W metodzie częstotliwościowej (ang. AC method)”,

s. 49₆ – „Metoda częstotliwościowa (ang. AC method)”.

Sformułowanie „charge-discharge” w pracy pojawia się trzynaście razy, „ładuj-rozładuj” dwadzieścia razy, a co najmniej dwukrotnie Autor wyjaśnia, że „ładuj-rozładuj” to odpowiednik „charge-discharge”. Są też inne tego typu przykłady – np. wielokrotne tłumaczenie co to takiego SSHV, czy też SNR. Moim zdaniem Autor powinien się zdecydować na jedną wersję językową z ewentualnym jednokrotnym przytoczeniem odpowiednika w języku na przykład angielskim.

W języku polskim separatorem dziesiętnym jest przecinek, w literaturze międzynarodowej jest stosowany przecinek lub kropka, zaś Autor stosuje raz kropkę (np. na s. 49), innym razem przecinek (np. na s. 60). Należałoby wybrać jeden sposób notacji. To bez wątpienia bardzo drobna rzecz, ale jak to się mówi „wiele ziaren tworzy stos”. Następna uwaga dotyczy zapisu funkcji i jednostek. Symbole konkretnych funkcji należy pisać antykwa, a nie kursywą. We wzorze (3.34) funkcja logarytm jest zapisana kursywą z zaznaczeniem podstawy logarytmu, a w następnym wzorze (3.35) już antykwa bez podania podstawy. Oznaczenia jednostek miar należy pisać pismem prostym. Autor raz je pisze pismem prostym, a innym razem kursywą. Odsyłam tutaj do dwóch publikacji profesora Krystyna Pawluka: Jak pisać teksty techniczne poprawnie, *Wiadomości Elektrotechniczne*, nr 12, grudzień 2001; O poprawność polskiego słownictwa z zakresu elektryki, *Spektrum – Biuletyn Organizacyjny i Naukowo-Techniczny SEP*, wrzesień/październik 2009. I na koniec tego akapitu dodam, że nie ma czegoś takiego jak **obowiązkowe** normy edytorskie w pracy doktorskiej, choć przestrzeganie zasad „ortografii technicznej”, podobnie jak tej zwykłej, jest bez wątpienia wskazane zarówno z powodów estetycznych, jak i użytkowych. Autor może przyjąć własne zasady edytorskie, ale powinien je stosować konsekwentnie w całej pracy.

Rysunki i tabele w większości zostały przygotowane starannie i są cennymi elementami pracy. Sposób ich edycji nie jest jednak jednolity i w tym miejscu mógłbym powtórzyć uwagę z poprzedniego akapitu. Moje wątpliwości budzi też sposób podziału tekstu na rozdziały. Redakcje często zalecają maksymalnie trzypoziomowe numerowanie podrozdziałów. W rozprawie są podrozdziały o numerach 3.5.3.4.1 oraz 3.5.3.4.2. Chyba się dotąd nie spotkałem z tak „głębokim” podziałem – łatwo można zapomnieć w jakim kontekście są prowadzone rozważania w podrozdziale o takim numerze. Nie jest też wygodna dla czytelnika duża „odległość” pomiędzy odwołaniem do rysunku a jego pojawieniem się w tekście – np. dla Rys. 3.2 są to strony odpowiednio: 43 i 46, dla Rys. 3.3: 46 i 50.

A oto inne zauważone błędy i uwagi do redakcji tekstu rozprawy:

- s. 36₇ – jest „*Jednak obu trybach*”, powinno być „Jednak w obu trybach”;
- s. 42³ – jest „*być też otoczone są ekranem*”, powinno być „być też otoczone ekranem”;
- s. 43₆ – jest „ $R_F = 1 \text{ MOhm}$ ”, powinno być „ $R_F = 1 \text{ M}\Omega$ ” (dalej, np. s. 71₄, jest użyta jednostka $\text{M}\Omega$, ale niestety prefix M jest tam zapisany kursywą, a oznaczenia jednostek miar pisze się antykwa);
- s. 50₄ – jest „*netywne*”, powinno być „natywne”;
- s. 60⁴ – jest „na fig. 8”, powinno być ???;
- s. 64 – części a), b) i c) Rysunku 3.18 mają podwójne oznaczenia;
- s. 71₆ – pod wzorem (3.45) zamiast drugiego „*k*” powinno być „*T*”;
- s. 153, [2] – jest „D. Holder and Institute of Physics (Great Britain)”, błąd edytorski (wygląda tak, jakby „Institute of Physics” był drugim autorem pracy)

6. Jakie są słabe strony rozprawy i jej główne wady?

Zarzuty dotyczące redakcji rozprawy zostały wymienione przeze mnie w poprzednim punkcie.

Muszę teraz wyraźnie podkreślić, że do dalszych moich uwag w tym punkcie lepiej pasowałby tytuł „**ogólna charakterystyka i krytyczna ocena rozprawy**”. **Słabe strony, czy raczej moje wątpliwości podam na tle ogólnej oceny, która jest generalnie pozytywna.** Uważam za celowe takie sformułowanie tego punktu recenzji.

W trzecim rozdziale Autor opisał metody pomiaru małych pojemności, w tym w szczególności metodę SSHV. Metoda była opisana wcześniej w publikacji współautorskiej [84]. Podczas publicznej obrony Autor powinien wyjaśnić na czym polegał jego udział w opracowaniu tej publikacji.

W czwartym rozdziale Autor opisał system akwizycji danych tomografu EVT4, zbudowanego w Zakładzie Elektroniki Jądrowej i Medycznej na Wydziale Elektroniki i Technik Informacyjnych. System EVT4 został opisany w publikacjach współautorskich [98] i [99], zatem podobnie jak wcześniej zasadnym jest pytanie – co tutaj jest indywidualnym osiągnięciem Autora? Należy jednak podkreślić, że w obu przywołanych wyżej publikacjach mgr inż. Jacek Kryszyn występuje jako pierwszy autor, a autorzy nie są wymienieni w kolejności alfabetycznej. Można stąd wnioskować, że wkład Autora w stworzenie systemu akwizycji danych EVT4 jest znaczący, ale proponuję, aby podczas publicznej obrony wyraźnie określił co uważa za własne osiągnięcie w tym zakresie. Tym bardziej, że chociażby przez związek z tytułem rozprawy, rozdział ten należy do rozdziałów podstawowych. Wszystkie, oprócz jednego, rysunki w tym rozdziale i jedyna tabela zostały zaczerpnięte z pracy [99]. Treść rozdziału tym samym w większości podlegała już ocenie recenzentów i była to ocena pozytywna, a ja ją niniejszym podtrzymuję. Doktorant dodał rysunek zawierający schemat przepustowości systemu EVT4 i w podrozdziale 4.3 dokonał oceny przepustowości systemu, co jest szczególnie istotne z punktu widzenia obrazowania dynamicznego w elektrycznej tomografii pojemnościowej.

W piątym rozdziale Autor przedstawił algorytmy użyte do numerycznego modelowania rozkładów dwu- i trójwymiarowego pola elektrycznego w przypadku zagadnień prostych oraz wyznaczania przestrzennego rozkładu przenikalności elektrycznej na podstawie pomiarów pojemności między elektrodami sondy w zagadnieniach odwrotnych. Zagadnienia dwuwymiarowe były modelowane z wykorzystaniem zestawu procedur ECTsim 1.1, zaś trójwymiarowe przy użyciu pakietu ECTsim 3.0. Równania (5.1)÷(5.3) i (5.9)÷(5.11), odpowiednio dla pól dwu- i trójwymiarowych, odpowiadające całkowitej postaci prawa Gaussa, posłużyły do wyznaczenia rozkładu pola elektrycznego w zagadnieniach prostych. Nie zostały one zapisane z należytą starannością. Jeżeli jest wykorzystywana regularna siatka kwadratowa (drugi wiersz od góry na stronie 105), to dlaczego rozmiar siatki h ma indeks l , sugerujący zmienną wartość dla każdej krawędzi. Parametr ten znika dalej w równaniach, a to potwierdza, że siatka jest kwadratowa (sześcienna). Pod wzorem (5.1) Autor wyjaśnia, że Φ_l ($l = 1, 2, 3, 4$) jest potencjałem w elemencie, ale przecież nieco wyżej stwierdza, że w każdym elemencie mamy do czynienia ze „stałą wartością przenikalności elektrycznej i potencjału elektrycznego”. Indeks l powinien odnosić się do gradientu potencjału $(\nabla\Phi)_l$ na brzegu, a nie do samego potencjału. Których elementów sąsiadujących z „ i,j ” oraz „ i,j,k ”, odpowiednio w przypadku dwu- oraz trójwymiarowym, miałyby dotyczyć przenikalności $\epsilon_{i-1,j+1}$ oraz $\epsilon_{i-1,j+1,k}$? Przecież elementów „ $i-1,j+1$ ” oraz „ $i-1,j+1,k$ ” nie ma w sąsiedztwie tych „podstawowych” – „ i,j ” oraz „ i,j,k ”. W równaniach (5.1) i (5.9) brakuje ponadto kropki dla oznaczenia iloczynu skalarnego i znaczka wektora dla elementu ds. Autor nie wyjaśnia też na czym polega

„przewaga” zastosowanej metody nad klasyczną metodą elementów skończonych, która dla pól statycznych w ograniczonym obszarze wydaje się być metodą wręcz doskonałą.

Na stronie 118 Autor stwierdza, że geometrię sondy trójwymiarowej dobrano w sposób inżynierski przez „wielokrotne powtórzenie modelowania”. Doktorant znajduje rozwiązanie, poszukując go w zbiorze założonych wersji projektowych sondy. Czy nie można było pokusić się o nieco bardziej wyrafinowaną metodę, choćby spośród tych znanych w teorii optymalizacji?

7. Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk technicznych?

Bez wątpienia rozprawa dotyczy zagadnienia o bardzo dużym znaczeniu, zarówno z naukowego, jak i aplikacyjnego punktu widzenia. Praca może być materiałem źródłowym dla badaczy zajmujących się elektryczną tomografią pojemnościową, w szczególności jej trójwymiarową wersją.

8. Do której z następujących kategorii Recenzent zalicza rozprawę:

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

Uważam, że Autor rozprawy wniósł istotny wkład do teorii i praktyki badanego zagadnienia. Wykazał przy tym, że posiada dużą wiedzę ogólną oraz uzdolnienia do pracy naukowo-badawczej. Wreszcie – co szczególnie ważne w naukach technicznych – skonfrontował rozważania teoretyczne z wynikami eksperymentów.

Rozprawa spełnia wymagania stawiane przez *Ustawę o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 roku* i w związku z tym stawiam wniosek o przyjęcie jej przez Radę Wydziału Elektroniki i Technik Informacyjnych Politechniki Warszawskiej jako rozprawy doktorskiej oraz dopuszczenie do publicznej obrony. Równocześnie oczekuję, że podczas publicznej obrony mgr inż. Jacek Kryszyn odniesie się do moich uwag, a w szczególności jasno określi co uważa za własne osiągnięcia w rozdziałach trzecim, czwartym i piątym, jako że po części materiał w nich zawarty pojawił się już w opublikowanych wcześniej artykułach współautorskich.


(Stanisław Gratkowski)