

Prof. dr hab. inż. Tomasz BOCZAR  
Politechnika Opolska  
Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki  
Instytut Elektroenergetyki i Energii Odnawialnej  
Katedra Odnawialnych Źródeł Energii

**Recenzja**  
**rozprawy doktorskiej mgr inż. Grzegorza KARNASA**  
**pt. „Analiza rejestracji pola elektrycznego w warunkach burzowych**  
**pod kątem wykorzystania w systemach lokalizacji wyładowań”**

**Podstawa formalna wykonania recenzji:**

Niniejsza recenzja została opracowana na zlecenie Dziekana Wydziału Elektrotechniki i Informatyki, prof. dr hab. inż. Kazimierza Buczka, zgodnie z uchwałą Rady Wydziału Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza w Rzeszowie, z dnia 22 maja 2019 r.

Promotorem rozprawy jest dr hab. inż. Grzegorz Masłowski, prof. Pol. PRz.

**1. Ocena aktualności tematu, cel i zakres rozprawy**

Pomimo prowadzonych od ponad 200 lat badań dotyczących zjawisk fizycznych, jakie towarzyszą powstawaniu i rozwojowi burz, które zostały zapoczątkowane przez Benjamina Franklina, nadal wiele istotnych procesów nie zostało w sposób kompleksowy poznanych, przebadanych oraz w konsekwencji w sposób ostateczny opisanych. Do najbardziej fundamentalnych i nadal otwartych kwestii można zaliczyć brak jednoznacznych, popartych opisem matematycznym odpowiedzi na szereg podstawowych pytań, jak: co powoduje powstawanie wyładowań burzowych; w co, gdzie i kiedy uderzy piorun; w jaki sposób chmury burzowe się elektryzują; jak powstaje piorun; skutki porażenia przez piorun ludzi w sferze psychicznej. W tym obszarze istnieje wiele teorii, modeli i prób opisu, a prace badawcze w tym zakresie są prowadzone przez kilka wiodących ośrodków naukowych zlokalizowanych głównie w USA i Australii.

Jednocześnie, notowany w ostatnich latach, rozwój aparatury i narzędzi badawczych powoduje, że odkrywane są nowe rodzaje wyładowań burzowych, występujące wysoko nad pułapem chmur, do których można zaliczyć: blue jets, sprites (red sprites) czy elves. Podczas badań fal radiowych o najdłuższych długościach, przy wykorzystaniu satelitów geostacjonarnych, stwierdzono występowanie zjawiska tzw. superpiorunów. Równie zadziwiającym zjawiskiem są pioruny kuliste. Należy przy tym zaznaczyć, że wymienione wyżej rodzaje wyładowań zostały jedynie w sposób bardzo ogólny scharakteryzowane. Rozważane są teorie inicjowania wyładowań burzowych przez wysokoenergetyczne protony pochodzące z przestrzeni kosmicznej. Prowadzone są badania związane z emisją promieniowania wysokoenergetycznego (fale rentgenowskie i gamma), jakie jest emitowane podczas generacji piorunu, a także prace kliniczne dotyczące wpływu porażenia piorunem na ludzki organizm, w tym w szczególności na mózg.

Dodatkowo, obserwowana w ostatnich latach dynamika zachodzących w skali globalnej zmian klimatycznych oraz związane z nimi wzrost temperatury powietrza przy powierzchni ziemi oraz jego wilgotności, powodują znaczne zwiększenie intensywności i częstotliwości wielu ekstremalnych zjawisk pogodowych, w tym burz. Mając na uwadze rosnącą aktywność burzową z jednej strony oraz dynamiczny rozwój szeroko rozumianej elektroniki, systemów teleinformatycznych, elektroenergetyki w tym elektrowni, systemów przesyłowo-rozdziałczych czy aparatury wysokonapięciowej, a także środków komunikacji i inteligentnych budynków z drugiej, powodują, że istnieje coraz większa potrzeba bieżącego monitorowania zjawisk fizycznych towarzyszących wyładowaniom atmosferycznym. Dotyczy to także doskonalenia wykorzystywanych systemów detekcji i lokalizacji występujących burz. W konsekwencji wymusza to stosowanie coraz bardziej wysublimowanych oraz zaawansowanych technicznie systemów ochrony odgromowej i przeciwprzepięciowej, które zwiększają poziom oraz skuteczność zabezpieczenia przed negatywnymi skutkami oddziaływania zjawisk towarzyszących przepływającemu prądowi w kanale wyładowczym.

Należy podkreślić, że recenzowana rozprawa stanowi kontynuację prac naukowo-badawczych dotyczących zagadnień związanych z szeroko rozumianą ochroną odgromową i przeciwprzepięciową, które prowadzone są od wielu lat na Politechnice Rzeszowskiej pod kierunkiem prof. Grzegorza Masłowskiego przy wykorzystaniu unikatowego w skali międzynarodowej stacji rejestracji wyładowań atmosferycznych.

Podstawowym celem rozprawy doktorskiej było opracowanie szybkiego i skutecznego algorytmu identyfikacji wyładowań atmosferycznych, który w konsekwencji mógłby zostać wykorzystany w systemach detekcji i lokalizacji wyładowań atmosferycznych. Ponadto, celem przeprowadzonych prac badawczych było uzupełnienie algorytmów rejestracji wyładowań atmosferycznych stosowanych obecnie w komercyjnych systemach lokalizacji burz, które bazują na pomiarach piorunowego pola elektromagnetycznego, o możliwość oceny dodatkowych składowych wyładowania, tj. : wyładowania wstępne i prąd długotrwały.

Zrealizowane w ramach rozprawy doktorskiej badania zmierzają do kompleksowego opisu zjawiska wyładowania atmosferycznego na podstawie zarejestrowanych przebiegów generowanego pola elektrycznego. Przy czym, kompleksowość dotyczy uwzględnienia w przeprowadzonych analizach wszystkich faz, które można wyróżnić w jego przebiegu, począwszy od wyładowania wstępnego, poprzez formowanie lidera, udar główny oraz składową prądu długotrwałego.

Na podkreślenie zasługuje fakt, że przedstawiane w rozprawie zagadnienia były również prezentowane w artykułach naukowych i referatach konferencyjnych.

**Reasumując, podjęta w rozprawie problematyka jest aktualna, ważna merytorycznie, ma duże znaczenie naukowe i poznawcze, a przede wszystkim może znaleźć praktyczną implementację w komercyjnych systemach lokalizacji wyładowań atmosferycznych oraz w szeregu szczegółowych zagadnień związanych z ochroną odgromową.**

## 2. Charakterystyka rozprawy

Przedłożona rozprawa doktorska mgra inż. Grzegorza Karnasa jest obszerna i liczy 186 stron zwartego tekstu, składa się z sześciu rozdziałów głównych, wykazu najważniejszych oznaczeń oraz spisu literatury zawierającego aż 211 pozycji, w tym 8, których Doktorant jest współautorem (poz. 86-92 i 126). Przegląd został przygotowany rzetelnie, zarówno pod względem merytorycznym, jak również redakcyjnym. Jest usystematyzowany poprzez posortowanie alfabetyczne, zawiera głównie pozycje

anglojęzyczne i w mojej ocenie jest kompletny. Na podkreślenie zasługuje także jednolity sposób opisu poszczególnych cytowań i ich przytaczania w tekście rozprawy. Przy czym, stosowanie opisu za pomocą umieszczenia w nawiasie klamrowym nazwiska pierwszego autora i roku wydania, zmniejsza czytelność i spójność zdań, w szczególności przy dużej liczbie cytowań, co dotyczy zagadnień teoretycznych. Bardziej czytelnym jest zastosowanie bezpośrednio numeracji zastosowanej w przeglądzie.

Rozdział **pierwszy** stanowi ogólne wprowadzenie do zaproponowanej w rozprawie tematyki, w którym Doktorant w sposób syntetyczny uzasadnił wybór podjętej problematyki, a także przedstawił genezę wykonanych prac naukowo-badawczych, wskazując przy tym na ograniczenia wykorzystywanych obecnie systemów lokalizacji wyładowań piorunowych. W rozdziale tym został przedstawiony cel główny oraz sprecyzowane cele szczegółowe, a także zakres merytoryczny rozprawy ze zdefiniowanymi 10 zadaniami badawczymi. Ponadto, Doktorant sformułował tezę główną swojej rozprawy, która jest następująca:

*Możliwa jest efektywniejsza identyfikacja parametrów składowych wyładowania atmosferycznego wykorzystująca analizę czasowo-częstotliwościową zarejestrowanego piorunowego pola elektrycznego pod kątem rozwoju systemów lokalizacji wyładowań atmosferycznych.*

Teza podstawowa została uszczegółowiona poprzez zdefiniowanie dwóch tez uzupełniających, tj.:

*Teza 1* **Możliwa jest detekcja oraz identyfikacja parametrów wyładowania atmosferycznego charakteryzujących: wyładowania wstępne, fazę lidera, udary wyładowań głównych oraz składową prądu długotrwałego, na podstawie zarejestrowanego piorunowego pola elektrycznego.**

*Teza 2* **Możliwe jest wyznaczenie przebiegu prądu płynącego u podstawy kanału piorunowego na podstawie zarejestrowanego pola elektrycznego dla różnych składowych wyładowania atmosferycznego.**

W moim przekonaniu Doktorant prawidłowo i w sposób przemyślany sformułował tezy rozprawy, które konsekwentnie, w logicznym ciągu pracy udowodnił.

Rozdział **drugi** stanowi teoretyczne wprowadzenie do zagadnień związanych z problematyką rejestracji i analizy procesów fizycznych związanych z powstawaniem i rozwojem wyładowań piorunowych. Doktorant, szczegółowo w sposób wyczerpujący opisał, podając dodatkowo wartości parametrów charakterystycznych, podstawowe składowe wyładowania atmosferycznego, począwszy od wyładowania wstępnego i formowania się lidera, poprzez udar prądowy pierwszego i kolejnych wyładowań głównych, kończąc na prądzie długotrwałym. Następnie zostały scharakteryzowane wykorzystywane obecnie metody i systemy detekcji oraz lokalizacji wyładowań burzowych, zwracając uwagę na ich ograniczenia metrologiczne. W kolejnych trzech podrozdziałach Doktorant opisał narzędzia i metody obliczeniowe, jakie zostały wykorzystane dla potrzeb przetwarzania i analizy zarejestrowanych danych pomiarowych. W szczególności zostały przedstawione algorytmy obliczeniowe wykorzystywane w analizie czasowo-częstotliwościowej, tj.: krótkoczasowa transformata Fouriera i jej postać odwrotna, ciągłe przekształcenie falkowe oraz wielomianowa transformatora Fouriera. Ponadto, Doktorant w sposób syntetyczny scharakteryzował własności i przedstawił aparat matematyczny zastosowanych podczas dalszych analiz narzędzi obliczeniowych, tj.: filtr Kołmogorowa-Zurbenko (KZ) oraz transformatę Hilberta.

W rozdziale **trzecim** Doktorant szczegółowo scharakteryzował poszczególne elementy funkcjonalne stacji rejestracji wyładowań atmosferycznych, która została utworzona i zainstalowana w Politechnice Rzeszowskiej w budynku Wydziału Elektrotechniki i Informatyki. W szczególności zostały opisane dwa podstawowe bloki umożliwiające

odpowiednio wideo i foto rejestrację oraz pomiary szybko- i wolno-zmiennego pola elektrycznego wyładowania piorunowego. W oddzielnych podrozdziałach Doktorant przedstawił kolejno poszczególne elementy składowe dla dwóch zastosowanych torów utworzonego systemu rejestracji. Wykorzystana aparatura daje możliwość detekcji komórek burzowych i procesów związanych z przemieszczaniem się ładunków elektrycznych rozmieszczonych przestrzennie w chmurze burzowej (pomiar pola wolnozmiennego) oraz rejestrację zjawisk związanych z rozwojem wyładowania atmosferycznego (antena szybkozmienna). Ponadto, system posiada tor wyzwalania wykorzystujący sygnał z anteny pola szybkozmiennego, który uruchamia szybką kamerę wideo rejestrującą rozwój kanału piorunowego, a także uaktywnia działanie wszystkich urządzeń stacji w przypadku wystąpienia zwarcia doziemnego. System uzupełnia antena stanowiąca część europejskiego systemu lokalizacji miejsc uderzeń wyładowań piorunowych LINET, co dodatkowo umożliwi wzajemną weryfikację poprawności dokonywanych rejestracji. Doktorant dokładnie scharakteryzował wykorzystane w systemie anteny, przedstawiając ich budowę, podstawowe parametry i zasadę działania. Opisał także poszczególne elementy ich torów pomiarowych oraz omówił przykłady zarejestrowanych przebiegów zmian wielkości pola elektrycznego w czasie. W rozdziale tym znajduje się także opis procedury oraz uzyskane wyniki dwuetapowego procesu kalibracji zastosowanych anten pola elektrycznego, pierwszy przeprowadzony w warunkach laboratoryjnych i drugi w terenie. W rozdziale tym znajduje się także charakterystyka układu do rejestracji procesu generacji i rozwoju kanału piorunowego oraz zostały omówione przykładowe rejestracje uzyskane przy zastosowaniu szybkiej kamery wideo i przy użyciu aparatu fotograficznego. W tym zakresie Doktorant opracował własną aplikację umożliwiającą automatyczne sterowanie procesem nagrywania oraz analizy zarejestrowanych obrazów wideo oraz wykonywanych fotografii. Ponadto, opisał działanie zaproponowanego algorytmu synchronizacji, który został zaimplementowany w systemie rejestracji oraz zautomatyzowanych procedur przetwarzania zarejestrowanych danych.

W rozdziale **czwartym** opisano pierwszy etap działania algorytmu identyfikacji, który dotyczy procesu detekcji i rozpoznawania poszczególnych składowych rejestrowanego wyładowania atmosferycznego. W pierwszym podrozdziale Doktorant przedstawił, na podstawie czterech reprezentatywnych rejestracji, zaproponowany przez niego sposób selekcji przebiegów pola elektrycznego wyładowań atmosferycznych w oparciu o kryterium odległości od kanału piorunowego. Następnie został omówiony problem skutecznej filtracji sygnałów zakłócających rejestrowane wyładowania oraz konieczność poprawy stosunku S/N (szum/zakłócenie). W tym zakresie Doktorant opracował dwuetapowy algorytm umożliwiający poprawę stosunku S/N, który bazuje na wykorzystaniu filtru cyfrowego KZ. W dysertacji został przedstawiony sposób przeprowadzania filtracji i doboru optymalnych wartości parametrów zastosowanego filtru. Ponadto, opisano procedurę filtracji sygnałów harmoniczných, która została zrealizowana z wykorzystaniem przekształcenia STFT oraz transformaty odwrotnej ISTFT, podając przy tym przykłady przeprowadzonej filtracji dla zarejestrowanych reprezentatywnych przypadków wyładowań piorunowych. W następnym kroku został przedstawiony, opracowany przez Doktoranta, algorytm automatycznej detekcji i identyfikacji głównych faz/składowych wyładowania atmosferycznego. W tym zakresie, w osobnych podrozdziałach, zostały opisane poszczególne bloki funkcjonalne umożliwiające kolejno detekcję: udarów głównych, szybkozmiennych zaburzeń pola elektrycznego, fazy lidera oraz prądu długotrwałego. Przy czym, szczególną uwagę zwrócono na najistotniejszy z punktu widzenia ochrony odgromowej blok funkcjonalny algorytmu umożliwiający detekcję i identyfikację parametrów udarów wyładowań głównych, który bazuje m.in. na wykorzystaniu transformaty Hilberta i filtru KZ.

Rozdział **piąty** poświęcony jest zagadnieniom modelowania prądu wyładowania głównego u podstawy kanału piorunowego na podstawie zarejestrowanego burzowego pola elektrycznego, który w głównej mierze odpowiada za zaburzenia elektromagnetyczne o charakterze przewodzącym. W pierwszym kroku zostały omówione podstawowe założenia dotyczące przyjętego modelu. Następnie Doktorant przedstawił w sposób szczegółowy zaproponowany algorytm wyznaczania prądu u podstawy kanału piorunowego. W podsumowaniu tego rozdziału zostały przedstawione rezultaty weryfikacji opracowanej metody obliczeniowej z wynikami uzyskanymi na stacji rejestracji wyładowań atmosferycznych na Politechnice Rzeszowskiej.

W rozdziale **szóstym** Doktorant na podstawie uzyskanych i zaprezentowanych w rozprawie wyników sformułował ogólne wnioski, jak również zdefiniował podstawowe osiągnięcia rozprawy, które jednoznacznie potwierdzają osiągnięcie założonych tez głównej i dwóch pomocniczych. Ponadto, w sposób ogólny określił możliwe kierunki implementacji uzyskanych wyników. Brakuje mi w tym rozdziale zaproponowania kierunków kontynuacji zapoczątkowanych w doktoracie prac naukowo-badawczych.

Przyjęty układ pracy jest czytelny, a kolejne rozdziały tworzą logiczną całość.

Za najważniejsze w rozprawie uważam rozdziały **3, 4, 5**, w których zostały przedstawione wyniki przeprowadzonych badań i analiz, które w sposób jednoznaczny potwierdzają udowodnienie założonych w dysertacji tez.

**Reasumując, podjęte w rozprawie zagadnienia zostały sprecyzowane jednoznacznie i w mojej ocenie mają rangę naukową odpowiadającą rozprawom doktorskim.**

### 3. Główne osiągnięcia rozprawy

**Do najważniejszych osiągnięć naukowych Doktoranta zaliczam:**

- znaczący udział w opracowaniu, utworzeniu, a następnie modyfikacji unikatowej w skali międzynarodowej, stacji do rejestracji wyładowań atmosferycznych funkcjonującej w Katedrze Elektrotechniki i Podstaw Informatyki, przy czym rzeczywisty udział może zostać przeze mnie określony na podstawie odpowiedzi Doktoranta na pytanie 1 zawarte w moich uwagach merytorycznych do dysertacji;
- przeprowadzenie kalibracji anten pola elektrycznego szybkozmiennego w warunkach laboratoryjnych i terenowych, przy czym rzeczywisty udział Doktoranta w przygotowaniu wykorzystywanych układów pomiarowych może zostać określony w oparciu o odpowiedź na pytanie 2 zawarte w moich uwagach merytorycznych do rozprawy;
- opracowanie aplikacji umożliwiającej zautomatyzowane sterowanie procesem rejestracji, analizy, przetwarzania i archiwizacji obrazów wyładowań piorunowych uzyskiwanych przy zastosowaniu szybkiej kamery Photron SA5 oraz przy użyciu aparatu fotograficznego NIKON D7100, którego poprawność działania została zweryfikowana w warunkach laboratoryjnych;
- opracowanie i praktyczne zaimplementowanie dwuetapowego algorytmu synchronizacji czasowej rejestracji obrazów kanału piorunowego uzyskanych za pomocą szybkiej kamery wideo Photron SA5 oraz procedury przetwarzania zarejestrowanych danych realizowanej w trybie postprocessingu;
- opracowanie i praktyczne wdrożenie programowe dwuetapowego algorytmu poprawy stosunku S/N przy wykorzystaniu selektywnego filtra KZ, przy czym rzeczywisty

wkład własny Doktoranta będzie możliwy do określenia po uzyskaniu odpowiedzi na pytanie 7 zawarte w moich uwagach merytorycznych do pracy;

- opracowanie procedury filtracji sygnałów harmonicznych z wykorzystaniem krótkoczasowej transformaty Fouriera (STFT) i przekształcenia do niej odwrotnego (ISTFT);
- przeprowadzenie szeregu wielokrotnych pomiarów pola elektrycznego generowanego przez wyładowania atmosferyczne przy wykorzystaniu stacji ich rejestracji zainstalowanej w Politechnice Rzeszowskiej;
- utworzenie i zaimplementowanie programowe algorytmu automatycznej detekcji i identyfikacji głównych faz/składowych wyładowania atmosferycznego, w tym: wyładowań głównych, wyładowań wstępnych fazy lidera i wyładowań w gałęziach bocznych kanału piorunowego, fazy lidera oraz prądu długotrwałego, jest to moim zdaniem najbardziej istotne osiągnięcie naukowe recenzowanej dysertacji, mające duży potencjał wdrożeniowy, które stanowi jednocześnie potwierdzenie jej pierwszej tezy dodatkowej;
- opracowanie i adaptacja aplikacyjna algorytmu wyznaczania prądu u podstawy kanału piorunowego bazującego na zidentyfikowanych przebiegach generowanego przez zarejestrowane wyładowania atmosferyczne pola elektrycznego, w mojej ocenie jest to również jeden z najbardziej istotnych elementów, które zostały przez Doktoranta rozwiązane w ramach realizowanej dysertacji, dotyczy to zarówno sfery poznawczej, jak również potencjalnych praktycznych aplikacji przy ocenie zagrożenia piorunowego w ochronie odgromowej obiektów i stanowi dodatkowo potwierdzenie drugiej tezy pomocniczej rozprawy.

**W moim przekonaniu, przedstawione wyżej osiągnięcia Doktoranta uzasadniają Jego wysokie kompetencje naukowe i rekomendują GO do stopnia naukowego doktora.**

#### 4. Uwagi do rozprawy

Uwagi i zastrzeżenia dotyczące ocenianej rozprawy podzieliłem na dwie grupy:

- uwagi merytoryczne (11),
- uwagi redakcyjne (5).

##### 4.1 Uwagi merytoryczne

1. Proszę o wskazanie i uszczegółowienie wkładu własnego Doktoranta w utworzenie i rozszerzanie funkcjonalności, a także modernizację stacji rejestracji wyładowań atmosferycznych zainstalowanej w Katedrze Elektrotechniki i Podstaw Informatyki Politechniki Rzeszowskiej. W szczególności, mając na uwadze, stwierdzenie znajdujące się dysertacji, tj.: „... opisano strukturę systemu wdrożonego głównie przez autora pracy ...” (str. 18-19).

2. Prosiłbym o wskazanie wkładu Doktoranta w przeprowadzenie procesu kalibracji anten pola elektrycznego wykorzystywanych podczas rejestracji wyładowań piorunowych, który wykonano w dwóch etapach, tj.: w warunkach laboratoryjnych i terenowych. Jaki jest rzeczywisty udział Doktoranta w opracowanie układu pomiarowego do kalibracji i wyznaczania charakterystyk częstotliwościowych anten pola szybkodziennego? Ponadto, dla jakich konfiguracji układu pomiarowego zilustrowanych na rys. 3.12 dokonano pomiarów charakterystyk kalibracji, co oznacza przewód krótki (rys. 3.13, str. 77) i czym się różnią kanały 1A, 1B, 2A i Ab (rys. 3.13, str. 77) ?

3. Prosiłbym o przedstawienie sposobu uwzględnienia parametrów przetwornika ADC przy oszacowaniu przelicznika między wartością pola elektrycznego wyrażoną w bitach i V/m.

4. Proszę o szerszy komentarz dotyczący ograniczeń i występujących wątpliwości w zakresie stosowania metod laboratoryjnych do wyznaczania wartości współczynnika kalibracji.

5. Prosiłbym o rozwinięcie i uszczegółowienie informacji dotyczących napisanej aplikacji wykorzystywanej przy wstępnej analizie rejestrowanych danych pod kątem zgodności z parametrami statystycznymi wyładowań atmosferycznych (str. 81) oraz układu sterującego fotorejestracjami wykorzystującego serwo mechanizm (str. 83-84).

6. Na str. 86. Dysertacji Doktorant napisał: „... Analiza rozpoczyna się wraz z przechodzeniem systemu w stan uśpienia, gdy aktywność burzowa spadnie poniżej zadanego poziomu ...”, proszę zatem podać, jaki jest to poziom, czy jest to kryterium czasowe i na jakiej podstawie został dobrany.

7. Proszę określić wkład własny Doktoranta w opracowanie dwuetapowego algorytmu poprawy stosunku S/N przy wykorzystaniu filtra KZ.

8. Doktorant opracował algorytm ISTFT, twierdząc, że spowodowane było to brakiem odpowiedniej funkcji wbudowanej standardowo w środowisko obliczeniowe Matlab. Natomiast, według mojej wiedzy Matlab posiada funkcję - „istfft” umożliwiającą obliczenie Inverse Short-Time Fourier Transform (ISTFT).

9. Na jakiej podstawie została wybrana wartość kryterialna  $5 \times 10^3$  (V/m)/s szybkości zmian transformaty Hilberta przy wskazywaniu ekstremów (str. 111) ?

10. Czy Doktorant rozważał możliwości zastosowania ciągłej lub odpowiednio dyskretnej transformaty falkowej, jako alternatywnej analizy w dziedzinie czasowo-częstotliwościowej uzyskiwanych rejestracji ?

11. W rozprawie prezentowane są liczne przebiegi czasowo-częstotliwościowe uzyskane przy zastosowaniu przekształcenia STFT. Prosiłbym o komentarz jaki typ okna czasowego zastosowano podczas wyznaczania spektrogramów przy zastosowaniu krótkoczasowego przekształcenia Fouriera (STFT) dla zarejestrowanych sygnałów. Na jakiej podstawie zostało ono dobrane i czy badano wpływ typu okna na uzyskiwane wyniki analizy czasowo-częstotliwościowej ?

## 4.2 Uwagi redakcyjne

1. Moim zadaniem rozprawa została zredagowana bardzo dobrze, zawiera tylko nieliczne błędy redakcyjne. Przede wszystkim dotyczy zwrotów nietechnicznych oraz niezręczności językowych, a w mniejszym stopniu sformułowań niepoprawnych stylistycznie, których wybrane przykłady przedstawiłem poniżej, a które nie wpływają w sposób znaczący na jej wysoką ocenę merytoryczną. Na podkreślenie zasługuje także brak błędów ortograficznych, interpunkcyjnych, czy wystąpienie tylko kilku tzw. literówek. Natomiast wszystkie dostrzeżone przez mnie błędy redakcyjne zaznaczyłem bezpośrednio w rozprawie.

- Doktorant posługuje się w pracy językiem technicznym, jednak nie ustrzegł się przed zastosowaniem kilkunastu mało precyzyjnych zwrotów i sformułowań np.:  
- „... otrzymanie w miarę dokładnych wyników ...” (str. 78); - „... przewód krótki ...” (str. 78); - „... niewielkie odległości pomiędzy antenami ...” (str. 78); - „... wysokich obiektów ...” (str. 78); - „... na niewielkie odstępach ...” (str. 90); - „... o znacznej wartości ...” (str. 94); - „... niewielki dystans ...” (str. 94); - „... niewielka amplituda ...” (str. 94); „... drobne różnice ...” (str. 108); itd.
- Przykłady błędów literowych:

- w pracy jest „*miedzy*”, a poprawnie powinno być „*między*” (str. 19);
- w pracy jest „*pod katem*”, a poprawnie powinno być „*pod kątem*” (str. 81);
- w pracy jest „*znajduje poza tym przedziałem*” a poprawnie powinno być „*znajduje się poza tym przedziałem*” (str. 104), itd.

- Przykłady sformułowań niepoprawnych stylistycznie:
  - „... *ważną intencją autora ...*” (str. 14); - „... *detekcja wykorzystuje transformatę ...*” (str. 106); - „... *wstępne tuż przed ...*” (str. 107); - „... *pozwala na bardziej świadome ...*” (str. 108); „... *wpływ fazy liderowej ...*” (str. 111); - „... *widziana przez obserwatora ...*” (str. 129); itd.
- W rozprawie nie znalazłem powtórzeń w zdaniach, dotyczy to zarówno pojedynczych wyrazów, jak również wyrażeń złożonych.

**2.** Nie mam zastrzeżeń do sposobu prezentacji graficznej uzyskanych wyników pomiarowych. Ilustrowane przebiegi oraz wprowadzone na rysunkach komentarze są czytelne, skale zostały dobrane właściwie co w konsekwencji umożliwi wyeksponowanie najważniejszych części przedstawianych zależności. Na podkreślenie zasługuje jednolity w całej dysertacji sposób formatowania, oznaczania i opisu osi współrzędnych. Jedyna moja uwaga w tym zakresie dotyczy przeskalowania niektórych fotografii przedstawionych m. in. na rys. 3.2 (str. 63), rys. 3.14 (str. 78), rys. 3.18 (str. 80), itd. Ponadto w celu zwiększenia ich czytelności można było zamiast przedstawiania dwóch fotografii w jednej linii, wyeksponować tylko jedną zwiększając jej rozmiary.

**3.** Prezentowane w pracy wzory i zależności są czytelne, wykorzystane oznaczenia zostały w sposób właściwy opisane. Natomiast brakuje znaków interpunkcyjnych umieszczonych na końcu przytaczanych wyrażeń, odpowiednio znaku kropki lub przecinka, w zależności od kontekstu zdania oraz znaku dwukropka przed zamieszczonym wzorem.

**4.** Brak konsekwencji w stosowaniu sposobu oddzielania części całkowitej od dziesiętnych, na wykresach. W tym celu wykorzystano kropkę, natomiast w tekście przecinek lub kropkę (Np. Tab. 2.3 – przecinek; Tab. 4.1 - kropka). Na str. 77 znajduje się zapis:  $2,97 \text{ (V/m)/mV} \pm 0.09 \text{ (V/m)/mV}$ , gdzie wykorzystano oba znaki w jednym wyrażeniu liczbowym.

**5.** Brak spacji oddzielającej numer i tytuł rozdziałów głównych dysertacji.

**Zawarte w recenzji uwagi i zastrzeżenia nie wpływają w sposób znaczący na wartość merytoryczną rozprawy, proszę jednak Doktoranta o odniesienie się do nich przed obroną. Praca nie wymaga w związku z tym zmian ani uzupełnień.**

## 5. Wniosek końcowy

Oceniana rozprawa doktorska dotyczy aktualnego i oryginalnego zagadnienia naukowego. Należy do prac doskonalących metody numerycznego opracowywania wyników uzyskiwanych podczas rejestracji pola elektromagnetycznego emitowanego przez wyładowania atmosferyczne podczas burz. Przy czym, przedstawiona rozprawa stanowi kompleksowe ujęcie zagadnień związanych z analizą piorunowego pola elektrycznego. W toku dysertacji Doktorant wykazał, że istnieje możliwość identyfikacji parametrów składowych wyładowania atmosferycznego w oparciu o wyniki przeprowadzonej analizy czasowo-częstotliwościowej zarejestrowanego piorunowego pola elektrycznego, co w konsekwencji może zostać wykorzystane w systemach lokalizacji burz i stanowi potwierdzenie głównej tezy pracy.

Moim zdaniem, uzyskane podczas realizacji dysertacji wyniki mają duże znaczenie poznawcze i naukowe, stanowią poszerzenie możliwości interpretacji uzyskiwanych rezultatów w stacjach rejestrujących wyładowania burzowe oraz mają dobre perspektywy



praktycznego wykorzystania w komercyjnych systemach lokalizacji wyładowań atmosferycznych oraz wdrożenia w szeroko rozumianej ochronie odgromowej.

Zarówno główne, jak również szczegółowe cele rozprawy były konsekwentnie realizowane i zostały osiągnięte. Doktorant wykazał się dobrym opanowaniem wiedzy teoretycznej, przede wszystkim z zakresu szeroko pojętej elektrotechniki, w tym m.in. teorii pola elektromagnetycznego, teorii sygnałów, ochrony odgromowej, fizyki wyładowań atmosferycznych, modelowania zjawisk fizycznych oraz bardzo dobrą znajomością i umiejętnością praktycznego wykorzystania zaawansowanych technik obliczeniowych oraz nowoczesnych metod przetwarzania oraz analizy sygnałów. Posiada również umiejętność prowadzenia badań w warunkach laboratoryjnych, implementacji opracowanych algorytmów obliczeniowych w środowisku programistycznym, a ponadto cechuje Go samodzielność w formułowaniu i rozwiązywaniu problemów o charakterze naukowym.

Uważam, że recenzowana praca z nadmiarem spełnia warunki stawiane rozprawom doktorskim, określone w *Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki* z dnia 14 marca 2003 roku z wprowadzonymi poprawkami obowiązującymi od 11 października 2011 r. Dlatego stawiam wniosek o dopuszczenie przez Radę Wydziału Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza w Rzeszowie, mgr inż. Grzegorza Karnasa do publicznej obrony przedłożonej rozprawy oraz wniosku o jej wyróżnienie.

