Prof. dr hab. inż. Mariusz J. Figurski
Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska
Politechnika Gdańska

Gdańsk, 29.03.2025

Recenzja rozprawy doktorskiej mgra Pawła Fliska zatytułowanej

“Monitoring nieregularności jonosferycznych w oparciu o obserwacje astrofizyczne systemem LOFAR”.

Tematem badań opisanych w rozprawie doktorskiej Pana mgra Pawła Fliska, zatytułowanej „Monitoring nieregularności jonosferycznych w oparciu o obserwacje astrofizyczne systemem LOFAR”, którą napisał pod kierunkiem dr hab. Leszka Błaszkiewicza, prof. UWM jest próbą opracowania metodyki komplementarnego badania nieregularności jonosferycznych na średnich szerokościach geograficznych na podstawie wspólnych obserwacji radioteleskopu LOFAR i GNSS oraz analiza wpływu jonosfery na obserwacje pulsarów w zakresie pasma obserwacyjnego radioteleskopu LOFAR.

Badania jonosfery metodami radioastronomicznymi i GNSS mają nie tylko aspekty poznawcze, ale również utylitarne. Pozwalają nie tylko na poprawę jakości i niezawodności systemów nawigacyjnych i komunikacyjnych, ale także przyczynia się do pogłębienia naszej wiedzy o procesach zachodzących w atmosferze Ziemi oraz ich wpływie na technologię i bezpieczeństwo infrastruktury krytycznej. Obserwowane nieregularności w jonosferze krótko i długo okresowe mogą powodować opóźnienia, zakłócenia czy nawet zniekształcenia sygnałów, co w praktyce prowadzi do obniżenia dokładności systemów nawigacyjnych i łączności. Pan Paweł Flisek, wykorzystując jeden z najnowocześniejszych radioteleskopów, jakim jest LOFAR (z ang. LOw Frequency

ARray) wykonał szereg analiz i badań struktur jonosfery, które pozwalają na lepsze zrozumienie i prognozowanie zjawisk związanych z pogodą kosmiczną, takich jak burze geomagnetyczne, czy fluktuacje w plazmie jonosferycznej. Dzięki temu można podjąć odpowiednie działania, aby minimalizować negatywne skutki tych zjawisk na infrastrukturę techniczną. Dodatkowo doktorant opracował metodykę analizy wpływu jonosfery na obserwacje pulsarów z wykorzystaniem radioteleskopu LOFAR. Na uwagę zasługuje również opracowana przez doktoranta autorska metodyka obliczania parametru S4 scyntylacji jonosferycznych z wykorzystaniem obserwacji LOFAR.

Zawartość merytoryczna pracy

Rozprawa stanowi podsumowanie badań doktoranta w wykorzystaniem radioteleskopów LOFAR w badaniach jonosfery i obserwacji pulsarów.

Praca składa się pięciu zasadniczych rozdziałów, wprowadzenia, podsumowania, załącznika i bibliografii. W wprowadzeniu doktorant wyjaśnia znaczenie badań dla rozwoju dyscypliny naukowej, a szczególnie znaczenia dla pomiarów GNSS, w których zmiany zachodzące w jonosferze powodują degradowanie sygnałów w paśmie pracy systemu, co prowadzi do błędów w pozycjonowaniu. W rozdziale pierwszym, drugim i trzecim zawarte są opisy teoretyczne i techniczne do wykonanych badań. W pierwszym rozdziale doktorant przedstawił zagadnienia związane z propagacją fal radiowych i zjawiska wpływające na kierunek, amplitudę i fazę propagowanej fali radiowej. Rozdział drugi przedstawia opis techniczny radioteleskopu LOFAR, z uwzględnieniem metodologii i rodzajów możliwych do wykonania obserwacji. Rozdział drugi zawiera również opis obiektów astrofizycznych, które obserwował i analizował doktorant w pracy. Ważnym z punktu widzenia pracy jest opis wpływu jonosfery na obserwacje radioteleskopem LOFAR. Doktorant syntetycznie przedstawił w nim trzy rzędy efektów jonosferycznych, które charakteryzują całkowitą zawartość elektronów wzdłuż kierunku obserwacji. Wyjaśnione zostało, dlaczego nie jest możliwe wprost wyznaczenie absolutnej liczby elektronów na drodze wiązki. W rozdziale tym przedstawiono również tradycyjne techniki monitorowania jonosfery z wykorzystaniem systemów nawigacji satelitarnej (GNSS).

Rozdziały czwarty i piąty obejmują autorskie badania i analizy doktoranta. Rozdział czwarty dotyczy problematyki wyznaczania indeksu S4, który służy do

określenia amplitudy scyntylacji jonosferycznych. W obserwacjach radioastronomicznych prowadzonych na niskich częstotliwościach radiowych kluczowym czynnikiem umożliwiającym wykonanie obserwacji jest uwzględnienie czynnika dyfrakcyjnego, jakim jest jonosfera. Wykonane przez doktoranta obserwacje radioźródeł (Cassiopei A i Cygnusa A) radioteleskopem LOFAR dostarczyły informacji o scyntylacjach sygnału propagującego przez jonosferę, a miarą jego dyspersji jest współczynnik S4, który opisuje występowanie i stopień scyntylacji sygnału. W rozdziale czwartym została zaprezentowana również jedna z ważniejszych części pracy, w opinii recenzenta prezentująca autorską metodykę przetwarzania danych w celu wyznaczenia indeksu S4 z danych obserwacyjnych LOFAR.

W rozdziale piątym doktorant przedstawił badanie sygnałów pochodzących z pulsarów. Doktorant omówił w nim algorytm wyznaczania widm dynamicznych na podstawie stosunku sygnału do szumu, pokazał sposób oddzielenia wpływu propagacji sygnału przez ośrodki międzygwiazdowe. Dodatkowo przedstawił wpływ jonosfery na obserwacje pulsarów śledzonych na stacji w Bałdach oraz wyniki synchronicznej kampanii pomiarowej prowadzonych przez stacje w Bałdach (PL612) i Łazach (PL611). W załączniku do rozprawy doktorant zawarł opis autorskiego oprogramowania Solar and Scintillation LOFAR Utilisation Tool, którego zadaniem jest analiza obserwacji zbieranych przez stację PL612. Do rozprawy zostało dołączonych 46 pozycji literatury przedmiotu, którą doktorant wykorzystał w pracy. Na uwagę zasługuje fakt, że załączona bibliografia to zbiór najważniejszych pozycji obejmujących poruszane w pracy zagadnienia.

Najważniejszym wynikiem pracy wynikającym z przeprowadzonych analiz obserwacji LOFAR i GNSS jest dowód, że są to techniki uzupełniające się wzajemnie w badaniach jonosfery i lepiej obrazują chwilowy stan jonosfery. Wyniki obserwacji scyntylacyjnych wykazały natomiast, że nieregularności na granicy owalu zorzowego oraz struktury jonosferyczne mogące być konsekwencją niestabilności Perkinsa na średnich szerokościach geograficznych.

Ocena rozprawy

W ocenie recenzenta praca Pana Pawła Fliska spełnia wszystkie wymagania stawiane ustawowo i zwyczajowo rozprawom doktorskim. Obserwacje i analizy, które przeprowadził doktorant są bardzo wnikliwe, wpisują się we współczesny

nurt badań nad mechanizmami powstawania zaburzeń i nieregularności jonosferycznych oraz pozycjonowania satelitarnego. Badania nieregularności mają szczególne znaczenie przy detekcji zakłóceń celowych będących jednym z elementów walki elektronicznej. Część opisowa pracy dotycząca fizyki jonosfery, propagacji fal radiowych i metodyki obserwacji LOFAR jest dość obszerna i w ocenie recenzenta nie wszystkie informacje w niej zawarte mają istotne znaczenie w kontekście tematu rozprawy. Podobne wrażenie można odnieść czytając część dotyczącą analizy i opisu wykonanych badań. Jednak z drugiej strony, podejście zaprezentowane przez doktoranta, pokazuje jego biegłość nie tylko w prowadzeniu badań, ale także opisywania ich wyników. Pomimo wielu zalet, po przeczytaniu rozprawy, jako badacz eksperymentator i specjalista od modelowania czuję pewien niedosyt. W dysertacji doktorant wykonał wszystkie analizy, aby udowodnić postawioną hipotezę badawczą "radioteleskop LOFAR umożliwia wspólne i komplementarne badania jonosfery z pomiarami GNSS oraz dostarcza niedostępnych wcześniej analiz niestabilności w strukturze plazmy i ich fizyki" oraz hipotezę pomocniczą: "jonosfera wywiera zauważalny wpływ na obserwacje pulsarów obserwowany w postaci scyntylacji sygnału". Jednak w pracy dla dopełnienia badań, w ocenie recenzenta, zabrakło analizy pomiarów scyntylacji wyznaczanych z wysokoczęstotliwościowych obserwacji GPS/GNSS oraz ich wspólnej analizy z wynikami LOFAR. Pytania do doktoranta, na które odpowiedź chciałbym usłyszeć w czasie obrony. Jakie mogą być zależności między indeksem S4 wyznaczonym w systemie LOFAR i GPS/GNSS, cechy wspólne i różnice? Czy doktorant analizował zmienność fazy sygnału za pomocą „Phase Scintillation Index”? Postawione pytania są raczej rozszerzeniem wiedzy w zakresie stosowanych metod badawczych niż zarzutem do doktoranta i jego dysertacji.

Słabszymi elementami przedstawionej do recenzji pracy jest jej część redakcyjna oraz „skromne” cytowanie literatury przedmiotu, szczególnie w trzech pierwszych rozdziałach. W pracy jest wiele literówek i brak wyjaśnionych niektórych skrótów np. format HDF5. Podobnie w niektórych formułach matematycznych brak jest wyjaśnienia oznaczeń. Doktorant w pracy posługuje się mało naukowymi sformułowaniami „Ponownie jako złoty środek między zachowaniem ergodyczności układu i uwzględnienia zmienności czasowej wybrano okres 3-minutowy”. Wprowadzenie elementu subiektywnej oceny w badaniach może prowadzić do błędnych wyników o czym doktorant powinien

pamiętać. W opisie typów obserwacji (rozdział 2.2) doktorant chyba błędnie obliczył szerokość obserwowanych pasm. Proszę o wyjaśnienie tej kwestii w czasie obrony.

Reasumując stwierdzam, że przedstawiona mi do recenzji rozprawa doktorska poza znaczeniem praktycznym, posiada istotne walory naukowe. To dobra rozprawa, dokumentująca nieprzeciętne umiejętności badawcze kandydata do stopnia doktora, umiejętność zaprojektowania, przeprowadzenia i analizy wyników skomplikowanych eksperymentów pomiarowych, a następnie ich sprawnego, syntetycznego opisania. Uzyskane wyniki stanowią ważny przyczynek w zakresie tematyki badań i posuwają nas o krok w kierunku zrozumienia zaburzeń zachodzących w jonosferze.

Rekomendacja

Z przyjemnością stwierdzam, że rozprawa doktorska pana Pawła Fliska spełnia wszystkie wymagania określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (tekst jednolity: Dz.U.2024.1571 ze zm.) i zwyczajowo stawiane rozprawom doktorskim. Pomijając błędy edytorskie, praca jest dobrze przemyślana i przygotowana, co stanowi podstawę pozytywnej oceny recenzenta. Praca Pana Pawła Fliska to przykład solidnej nauki eksperymentalnej, którą przedstawił w rozprawie doktorskiej dowodząc, że jego aspiracje do stopnia naukowego doktora są całkowicie uzasadnione. Z pełnym przekonaniem wnoszę o dopuszczenie Pana Pawła Fliska do dalszych części przewodu doktorskiego.

