

R E C E N Z J A

rozprawy doktorskiej mgr inż. Ngoc Hiep Doan

pt.: „Ultraviolet radiation in the atmosphere and its applications for military purposes”

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr inż. Ngoc Hiep Doan pt.: „Ultraviolet radiation in the atmosphere and its applications for military purposes”, wykonana w Wojskowej Akademii Technicznej im. Jarosława Dąbrowskiego. Funkcję promotora doktoratu pełnił dr hab. inż. Krzysztof Kopczyński, prof. WAT, a promotorem pomocniczym był dr inż. Marek Zygmunt. Recenzja została opracowana na prośbę prof. dr. hab. inż. Jana Jabczyńskiego - Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne, Wojskowej Akademii Technicznej im. Jarosława Dąbrowskiego.

1. Wstęp i tematyka pracy

Fotonika, kluczowa technologia XXI wieku, bezpowrotnie zmieniła sposób funkcjonowania człowieka, który ma obecnie dostęp do wiedzy na wyciągnięcie ręki, a coraz to nowe obszary nie mogą funkcjonować bez udziału fotonu. Kierunek ten od lat jest rozwijany w szerokim zakresie spektrum od ultrafioletu (UV) do podczerwieni, a postęp w tym obszarze wyznaczały osiągnięcia w zakresie metrologii i technologii materiałów umożliwiających generację i detekcję promieniowania. Najbardziej spektakularne dokonania zlokalizowane są w zakresie podczerwieni, gdzie zlokalizowane są okna telekomunikacyjne oraz układy metrologiczne oparte na detektorach wykorzystywanych w szeroko pojętym obrazowaniu cywilnym i wojskowym. Ostatnie jak np. matryce Focal Plane Array należą do tzw. materiałów podwójnego zastosowania będących podstawą detekcji strukturalnej materiałów, ale również militarnych układów naprowadzania. Uzyskanie przewagi na obu polach możliwe jest poprzez wprowadzanie rozwiązań, które pozwolą na większą dokładność pomiaru względem szumu generowanego przez układ pomiarowy i otoczenie. Jednym z kierunków jest stosowanie wielospektralnej analizy w rozumieniu zarówno nowych źródeł jak i ich i detekcji, czego dobrym przykładem są okna biologiczne zlokalizowane w zakresie VIS-NIR. Spektrum leżące wyżej energetycznie, czyli UV właśnie ze względów biologicznych, jest od lat przedmiotem badań w zakresie metrologii i oceny oddziaływania tego promieniowania na układy biologiczne. Ponadto, wobec znajomości cech naturalnego promieniowania słonecznego oraz istnienia sztucznych źródeł UV poszukuje się możliwości ich wykorzystania w systemach bezpieczeństwa cywilnego i wojskowego. Ostatni aspekt rozwijany jest przez Autora pracy, który systematycznie analizował możliwości oraz ograniczenia detekcji w szerokim zakresie UV, wskazując na potencjalne korzyści wykrywania zagrożeń militarnych.

2. Aktualność i cel rozprawy doktorskiej

Autor proponuje w rozprawie budowę układu do pomiaru tła promieniowania ultrafioletowego, analizuje jego właściwości zależne od warunków zewnętrznych i na tej podstawie poszukuje zastosowań w realnych systemach militarnych. Aktualność tematyki badawczej rozprawy jest zasadna z punktu widzenia szeroko pojętego bezpieczeństwa, a wprowadzenie zakresu UV do układów detekcji potwierdzona istniejącymi rozwiązaniami jak np. Stinger POST. Jednak należy zwrócić uwagę na kluczowy aspekt pracy jakim jest dyskusja nad cechami promieniowania w zakresie 200-400 nm, które jest silnie zależne od warunków atmosferycznych i określonej lokalizacji czasowo-przestrzennej. Doktorant omawia te dane w oparciu o badania literaturowe (stacje pomiarowe) i własne pomiary, co

pozwała na całościową ocenę warunków występowania promieniowania resztkowego UV. Jest to istotne nie tylko z punktu widzenia wprowadzania korekt w układach detekcji obiektów militarnych, ale może być też wykorzystane w biomedycynie i ochronie środowiska naturalnego. Dopiero na podstawie wniosków występowania promieniowania UV na powierzchni, możliwego do detekcji (np. w zakresie solar-blind), proponowane są dalsze rozwiązania symulacyjne i konstrukcyjne w rozdziałach 8 i 9.

Wobec powyższego podejścia Autor proponuje cel pracy wyspecyfikowany w formie punktów obejmujących: badania tłumienia promieniowania UV w atmosferze, konstrukcji układu i pomiar tła UV oraz przeprowadzanie analiz określenia zasięgu detekcji sygnatur spalin rakietowych i ujemnego kontrastu 300–400 nm. Ponadto na końcu pracy wskazuje na istotne cechy i rekomendacje, istotne z punktu widzenia korekt w wartościach pomiarowych względem proponowanych rozwiązań.

Zatem cel i zakres pracy są sformułowane prawidłowo, bowiem zostały tak zaplanowane, aby dokonać postępu naukowego w obszarze dotyczącym metrologii promieniowania UV i wskazania potencjalnych, ale dobrze udowodnionych zastosowań militarnych.

3. Układ pracy

Praca doktorska liczy 145 stron i składa się z 11 rozdziałów, w tym wnioski i bibliografię oraz nienumerowane pozycje obejmujące spisy skrótów, rysunków i tabel. Układ rozprawy jest typowy dla opracowań tej Dyscypliny, zawiera cel, dyskusję literaturową przedmiotu oraz część doświadczalną – symulacyjną i metrologiczną. Autor od początku (rozdz. 1-2) definiuje cel i zakres badawczy dysertacji wskazując na analizę propagacji promieniowania UV w atmosferze w aspekcie detekcji obiektów militarnych. Jasno formułuje zagadnienia badawcze obejmujące budowę układu i pomiar emisji tła UV, a następnie analizę możliwości wykorzystania zakresów spektralnych 250-295 nm i 300-400 nm do wykrywania strug rakiet i celów powietrznych. W tym celu wprowadza czytelnika w rozdz. 3 w tematykę natury promieniowania elektromagnetycznego, jego emisyjności w zakresie UV na powierzchni ziemi oraz charakterystyk sztucznych źródeł UV, jak sygnatury wylotów spalin rakiet i samolotów, wskazując jednocześnie na obecne systemy obronne wykorzystujące flary podczerwone. Kolejno (rozdz. 4) Autor omawia procesy oddziaływania promieniowania elektromagnetycznego w atmosferze wyróżniając zachodzące tam procesy zależne od wysokości, a więc jej składu, temperatury, ciśnienia czy wielkości cząstek. Podaje zależności opisujące zjawiska rozpraszania i absorpcji umożliwiające wyznaczenie pionowych profili parametrów atmosferycznych, optycznych właściwości gazów i aerozoli oraz współczynników odbicia od powierzchni Ziemi, które są podstawą w symulacjach transferu promieniowania wyznaczanych programem MODTRAN. W rozdziale 5, będącym bezpośrednim wprowadzeniem do części doświadczalnej pracy, znajdujemy analizę czynników wpływających na promieniowanie ultrafioletowe przy powierzchni Ziemi, a następnie metody pomiaru tego promieniowania. To istotny rozdział, który zapewne wpłyną na decyzję Doktoranta wykonania krok po kroku opisu własnego układu do detekcji tła promieniowania ultrafioletowego w zakresie 250–295 nm, jego konstrukcji i kalibracji. Efektem tych działań są wyniki i dyskusja pomiarów promieniowania w warunkach rzeczywistych zrealizowana na dachu Instytutu Optoelektroniki WAT, która wskazała na wiele aspektów obejmujących m.in. wartości graniczne tła w obszarze solar-blind, wpływ warunków meteorologicznych i geometrii obserwacji czy opracowania korekt i modeli kalibracyjnych detekcji ultrafioletu w zakresie 250–295 nm. Na tej podstawie możliwe było przedstawienie propozycji wykorzystania efektu ujemnego kontrastu optycznego (ang. negative contrast) w zakresie 300–400 nm (rozdz. 8) i analizy emisji sztucznego promieniowania UV przez strugi silników rakietowych w paśmie solar-blind tj. 250–295 nm (rozdz. 9). Doktorant dyskutuje wyniki badań i podsumowując je w rozdziale 10.

Stwierdzam, że układ pracy jest poprawny z zachowaniem stosownych proporcji wynikających z obecnego stanu wiedzy oraz przeprowadzonych prac symulacyjnych i badawczych. Uważam, że tak przedstawiony układ rozprawy jednoznacznie pozwala na ocenę osiągnięć mgr inż. Ngoc Hiep Doan.

4. Ocena pracy

4.1 Oryginalność i zdolności doktoranta do formułowania zadań i prowadzenia dyskusji naukowej

Doktorant podejmuje temat metrologii zakresu widmowego UV, który jest od lat dokładnie analizowany ze względu na zagrożenia biomedyczne i środowiskowe. Stąd też promieniowanie UV monitorowane jest przez stacje zlokalizowane na świecie, jego oddziaływanie na organizm ludzki i środowisko naturalne jest szeroko dyskutowane w aspektach zagrożeń oraz potrzeb, a sektor wojskowy proponuje rozwiązania w zakresie detekcji. W tym kontekście praca wpisuje się w dobrze ugruntowany obszar badawczy, w którym Autor jasno definiuje swój cel badawczy, aby na bazie dobrze znanej wiedzy i dostępnych danych o warunkach propagacji promieniowania UV w zakresie 200-400 nm wykazać okna potencjalnych zastosowań militarnych. Oryginalność rozprawy koresponduje ze zdolnością Doktoranta do formułowania zadań do których należą: i) konstrukcja i optymalizacja układu do pomiaru tła UV, ii) analiza i weryfikacja możliwości wykorzystania negatywnego kontrastu do wykrywania obiektów powietrznych w zakresie 300-400 nm oraz iii) modelowanie propagacji i detekcji promieniowania strug gazów silników rakietowych w zakresie solar-blind (250–295 nm).

Autor uzasadnił decyzję przeprowadzenia badań metrologicznych i symulacyjnych prezentując w rozdz. 3 sygnatury spalin raket, samolotów oraz efekt kontrastu negatywnego, a w rozdz. 4 i 5 podstawy teoretyczne, uwarunkowania atmosferyczne i założenia konieczne do przeprowadzenia symulacji i analizy wyników transmisji atmosfery (oprogramowanie MODTRAN). Analizując zawartość tych rozdziałów zwraca uwagę opis absorpcji i rozpraszania przez cząstki o różnym składzie, rozkładzie wielkości czy wartości współczynników załamania światła, zawarty w czterech głównych modelach dolnej troposfery (miejskim, wiejskim, kontynentalnym, morskim) oraz rozbudowana dyskusja nad czynnikami wpływającymi na promieniowanie UV przy powierzchni Ziemi (kąt zenitalny słońca, zmienna odległość ziemi w cyklu rocznym, koncentracja ozonu stratosferycznego, zachmurzenie, albedo). Mając na uwadze wielość czynników i zmiennych Doktorant charakteryzuje naziemne i satelitarne metody pomiaru promieniowania UV, odnosząc się do przytoczonych danych rozkładu promieniowania (atmosferycznych i geometrycznych) stosowanych do obliczeń teoretycznych. Skutkiem powyższych rozważań jest część eksperymentalna pracy, rozpoczynająca się od budowy i kalibracji stacji pomiarowej przeznaczonej do detekcji tła promieniowania ultrafioletowego w zakresie 200–400 nm (rozdz. 6). Zwraca tu uwagę, pozornie nadmierna szczegółowość opisanych decyzji konstrukcyjnych Autora, ale wynika ona z wyzwania jakim była zdolność do pomiaru szczątkowego tła UV w zakresie 200-300 nm, uzyskania powtarzalnych pomiarów wobec zmierzonej zmienności natężenia promieniowania w czasie (cykl dobowy) oraz stwierdzonej obecności zakłóceń elektromagnetycznych i światła pasożytniczego. W efekcie, będąc świadomym ograniczeń zastosowanych elementów składowych stanowiska Doktorant zastosował ekranowanie torów mierzonego sygnału oraz komponentów układu. W efekcie uzyskał oryginalne wyniki eksperymentalne; dowodząc na istnienie resztkowego promieniowania rozproszonego w paśmie solar-blind i jego zanik poniżej długości fali 245 nm (rozdz. 7). Szczególnie wartościowe są mapy czasowo-przestrzenne wskazujące na możliwy aplikacyjnie wybór zakresów spektralnych. Na tej podstawie wnioskuje, że możliwe jest projektowanie sensorów i systemów wykrywających źródła UV, zwracając jednocześnie uwagę na niską wartość SNR i dynamikę detektorów. Pierwszym zagadnieniem (rozdz. 8) jest analiza warunków kontrastu negatywnego, znanego z rozwiązań militarnych, ale bazującego na własnych symulacjach (PcModWin, MODTRAN code) radiancji UV (300-400nm) dla lokalizacji Warszawy i Hanoi. Zostały one wykonane dla różnych modeli atmosferycznych (pory roku, aglomeracja, odległość)

wykazując niezależność kontrastu insolacji, ale też silny wpływ absorpcji oraz rozpraszania aerozoli w atmosferze i w efekcie użyteczność zastosowania negatywnego kontrastu poniżej 4 km. Doktorant weryfikuje symulacje porównując sygnały z obszarów przesłoniętych (budynki) z promieniowaniem tła na stanowisku opartym o PMT - Thorlabs DET10A2 z filtrem UV i kamerą obserwacyjną. Wyniki wskazały bardzo dobrą zgodność symulacji z pomiarami (tabela 14 i rys. 66). Kolejnym oryginalnym osiągnięciem było określenie możliwości zastosowania detektorów AlGaIn. Doktorant zauważył, że charakteryzują się one maksymalną czułością ok. 278 nm i wysoką wydajnością kwantową ok. 89% oraz połączył z przeprowadzonymi uprzednio pomiarami tła resztkowego w zakresie 250–295 nm. Na tej podstawie zaproponował przeprowadzenie kompleksowej analizy możliwości wykrywania strug wylotowych silników rakietowych wykrywanych w paśmie solar-blind. Początkowo na podstawie przeglądu literatury wyznaczył rozkład molowy gazów CO i O w strudze, co po uwzględnieniu wielkości cząstek Al_2O_3 (efekt spalania paliw) pozwoliło na rozróżnienie emisji reakcji chemicznej utleniania (produkty CO_2 i $h\nu$) od emisji pochodzącej w wyniku generacji promieniowania ciepłego i rozpraszania na cząstkach Al_2O_3 . Kolejno dla tych emisji wyznaczył wartości średnie i całkowitą radiancję w paśmie 250–295 nm. Postawił pytanie jaka będzie wartość radiancji dla kątów 30 i 60 stopni elewacji detektora i dystansie w zakresie 1-10 km, wykazując, że powyżej 5 km tło atmosferyczne ($\sim 10\text{--}60\text{ nW}\cdot\text{m}^{-2}$) przewyższa emisję strugi dla długości fali poniżej 280 nm. Wyznaczwszy te zależności przystąpił do wyboru detektora wskazując na AlGaIn i na podstawie wartości literaturowych, własnych symulacji oraz wcześniejszych pomiarów obliczył przewidywaną wartość SNR. Wykazał, że uwzględnienie tła UV w modelu SNR jest konieczne, gdyż radiancja tła obniża skuteczność detekcji rakiet w warunkach niskiej przejrzystości atmosfery.

Uważam, że Ngoc Hiep Doan wypracował oryginalne osiągnięcia, a realizując cel pracy wykazał zdolności do formułowania zadań, które obejmowały konstrukcję stacji pomiarowej oraz symulację promieniowania UV w zakresie 200-400 nm, a następnie dyskusji tych wyników, które doprowadziły do propozycji zastosowań militarnych dotyczących analiz wykorzystania efektu negatywnego kontrastu obiektów powietrznych w pasmie 300-400 nm oraz możliwości detekcji promieniowania ultrafioletowego emitowanego przez strugi wylotowe silników rakietowych w paśmie solar-blind.

4.2 Znaczenie i osiągnięcia pracy doktorskiej

W pracy zaprezentowano szerokie spojrzenie na kwestię metrologii promieniowania UV w aspekcie zewnętrznych warunków mających istotny wpływ na wartość mierzonego tła, co ma znaczenie jak wykazano w zastosowaniach militarnych, ale uważam, że również biomedycznych i środowiskowych. Autor słusznie uwzględnił zagadnienia fundamentalne zjawisk wpływających na tłumienie promieniowania UV, pomiary literaturowe oraz uwarunkowania lokalizacyjne, a następnie wytłumaczył zakresy symulacyjne zastosowane w pracy. Dzięki temu praca ma znaczenie poznawcze i może być punktem wyjścia do dalszych badań. W tym kontekście do osiągnięć pracy zaliczam:

- ukierunkowany przegląd doniesień literaturowych i pomiarowych baz danych prowadzących do oceny możliwości wykorzystania promieniowania resztkowego tła UV w metrologii,
- budowa, kalibracja i optymalizacja (ekranowanie i izolacja toru pomiarowego) stanowiska umożliwiającego eksperymentalną weryfikację absorpcji promieniowania w zakresie 200-400 nm,
- znaczenie naukowe i aplikacyjne stanowiska dla badań w zakresie obronności, potwierdzone pomiarami na rys. 53-55 i 57-58, w tym też obecności promieniowania rozproszonego UV powyżej 250 nm (istotne w badaniach biomedycznych i środowiskowych),
- przeprowadzenie symulacji radiancji (300-400 nm) dla lokalizacji Warszawy i Hanoi dla różnych modeli atmosferycznych i uzyskanie pełnej zgodności zależności negatywnego kontrastu od odległości (rys. 66) oraz wykazanie spadku wartości kontrastu z odległością: 87% (50 m) do 30% (1 km),
- symulacje radiancji spektralnej spalin dla różnych kątów (0-60 stopni) ekspozycji sensora oraz tłumienia strumienia emisji sygnału dla warunków miejskich (widoczność 2-5 km) i terenowych

(widoczność 5-23 km) ze wskazaniem tłumienia sygnału UV w zakresie 50-80 % dla warunków miejskich,

- uwzględnienie w pomiarach zmierzonego resztkowego tła promieniowania w zakresie 250-290 nm wynoszącego $10-60 \text{ nW} \cdot \text{m}^{-2}$ oraz wykazanie, że zwykle pomijane tło UV istotnie ogranicza wartość wyznaczanego SNR – rys. 80 (na przykładzie wykorzystania detektorów AlGaIn).

5. Uwagi wynikające z lektury rozprawy

Rozprawa doktorska mgr inż. Ngoc Hiep Doan została zrealizowana poprawnie, a powyższe osiągnięcia są efektem przemyślnych badań eksperymentalnych i symulacyjnych. Doktorant prezentował swoje osiągnięcia na branżowych konferencjach (Symposium Techniki Laserowej, Konferencja Optoelektroniczna, Krajowa Konferencja Elektroniki) oraz posiada dwie publikacje w czasopiśmie Inżynieria Bezpieczeństwa Obiektów Antropogenicznych. Poniżej zamieszczam zagadnienia natury dyskusyjnej:

1. Czy możliwe jest na podstawie różnic w widmach spektralnych w zakresie 230-300 nm dla gazów emitowanych z różnych obiektów militarnych dokonywać ich identyfikacji (rys. 6 i 8)?
2. W układzie pomiarowym sygnał UV był skupiany lustrem parabolicznym do światłowodu. Jakie były parametry tego włókna i czy określono wpływ tłumienia tego elementu na poziom mierzonego sygnału UV.
3. Na rysunku 56 zmiany zintegrowanej radiancji spektralnej w zakresie godzin 13:00-14:00 (dla kątów 30 i 60 stopni) wykazują charakterystyczne przeciwstawne zaburzenie – proszę o wyjaśnienie.
4. Jakiego zakresu danych spektralnych dotyczy integracja radiancji na wykresie - rys. 59? Czy podział na zakresy długości wybranych fal nie byłby bardziej uzasadniony?
5. Jaki był rozmiar mierzonego obiektu – dotyczy wyników w tabeli 14?
6. Na rys. 69 zastosowano różne skale barwowe emisji, co utrudnia porównanie obszarów natężenia emisji.

Powyższe uwagi są dyskusyjne i nie wpływają na wysoką ocenę wartości badań zaprezentowanych w dysertacji.

Konkluzja

Osiągnięcia zaprezentowane w pracy Ngoc Hiep Doan pt. „Ultraviolet radiation in the atmosphere and its applications for military purposes” pozwalają mi stwierdzić, że zgodnie z Ustawą z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U.2024.0.1571 z późn. zm.) spełnia ona wymagania stawiane rozprawom doktorskim i wnioskuję o jej dopuszczenie do publicznej obrony.

Kraków, 12.06.2026 r.

