

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Ngoc Hiep Doan
pt.: „Ultraviolet radiation in the atmosphere and its applications for military purposes”

wykonanej w Wojskowej Akademii Technicznej
(promotor: dr hab. inż. Krzysztof Kopczyński, prof. WAT i promotor pomocniczy: dr inż.
Marek Zygmunt)

Promieniowanie ultrafioletowe w atmosferze ma szereg praktycznych zastosowań zarówno w sektorze cywilnym jak i wojskowym i może być rozpatrywane w ujęciu interdyscyplinarnym lub skupionym na konkretnym celu. Przy czym cel należy także rozpatrywać szeroko w aspekcie bezpieczeństwa, zdrowia i środowiska czy też rozpoznania, ochrony i technologii specjalistycznych. Zastosowania wojskowe obejmują przede wszystkim detekcję i rozpoznanie np.: śladów biologicznych, chemicznych, czy CBRN niewidocznych w świetle widzialnym. Kolejne aplikacje wojskowe to ochrona i maskowanie poprzez projektowanie mundurów i sprzętu na bazie materiałów odbijających lub absorbujących UV w specyficzny sposób. Kolejne, to wykorzystanie UV (szczególnie UV-C) do dezynfekcji w warunkach polowych (uzdatnianie wody oraz sterylizacja sprzętu medycznego). Szczególnie ważnym zastosowaniem wojskowym jest szeroko pojęte monitorowanie atmosfery i zagrożeń, w tym analiza składu atmosfery, wykrywanie zanieczyszczeń i aerozoli mogących wpływać na operacje wojskowe oraz wsparcie dla systemów satelitarnych i meteorologicznych i tym zastosowaniom Doktorant poświęcił swoją dysertację. Najbardziej obiecującą cechą detekcji UV jest tzw. pasmo solar-blind UV, w którym promieniowanie słoneczne jest silnie pochłaniane przez ozon atmosferyczny oraz tlen. Ten zakres widmowy umożliwia wykrywanie sztucznych źródeł promieniowania UV, takich jak smugi gazów wylotowych pocisków, przy wysokim stosunku sygnału do szumu oraz niskim prawdopodobieństwie fałszywych alarmów. Jednocześnie detekcja UV napotyka na istotne ograniczenia, w tym ograniczony zasięg detekcji spowodowany silnym pochłanianiem i rozpraszaniem w atmosferze, a także obecnością tła słonecznego na większych wysokościach. Dlatego wiele systemów obserwacyjnych wykorzystuje kompromis między intensywnością emisji chemicznej, przezroczystością atmosfery, a poziomem naturalnego tła promieniowania. To właśnie warstwa ozonowa jest jednym z głównych powodów, dla których promieniowanie UV-C emitowane przez procesy chemiczne w atmosferze rzadko dociera do powierzchni Ziemi w dużych ilościach.

Niniejsza rozprawa doktorska koncentruje się na dogłębnej analizie propagacji promieniowania ultrafioletowego (UV) w atmosferze oraz możliwych, wizjonerskich zastosowaniach promieniowania w systemach detekcji startów rakiet i pocisków oraz detekcji celów powietrznych. Celem pracy było przeanalizowanie tłumienia promieniowania UV w atmosferze w ujęciu teoretycznym i modelowym. W tym, pomiar, naturalnego tła UV przy pomocy czułych detektorów zliczających fotony oraz dokonanie na podstawie pomiarów

promieniowania tła ultrafioletowego i oczekiwanej wielkości sygnałów oceny możliwości wykrywania zagrożeń. W części doświadczalnej Doktorant przedstawia obliczone zakresy wykrycia emisji gazów wylotowych pocisków w pasmie UV chroniącym przed słońcem tzw. solar-blind UV oraz zakresy wykrycia celów powietrznych z wykorzystaniem obrazowania o kontraście negatywnym w bliskim nadfiolecie.

Interdyscyplinarny, a nawet multidyscyplinarny charakter dysertacji integruje zagadnienia z zakresu fizyki atmosfery, fotoniki, elektroniki, sztucznej inteligencji, telemetrii czy inżynierii kosmicznej. Implementuje tym samym rozwój nowoczesnych metod modelowania, analizy danych oraz projektowania złożonych systemów technicznych.

Dysertacja pt.: „Ultraviolet radiation in the atmosphere and its applications for military purposes” ma istotne znaczenie dla rozwoju dyscypliny naukowej obejmującej automatykę, elektronikę, elektrotechnikę oraz technologie kosmiczne, ponieważ łączy badania nad promieniowaniem ultrafioletowym z nowoczesnymi systemami detekcji, przetwarzania sygnałów, sensorami oraz technologiami obserwacji i komunikacji wykorzystywanymi zarówno w środowisku atmosferycznym, jak i kosmicznym.

Rozprawa doktorska została napisana w języku angielskim i obejmuje sumarycznie 145 stron, zilustrowana jest 80 rysunkami i 17 tabelami oraz 66 równaniami matematycznymi. Spis literatury zawiera 130 pozycji literaturowych z przedziału czasowego 1935-2026.

Praca doktorska składa się z 10 rozdziałów, oraz streszczenia w wersji polsko- i anglojęzycznej i wykazu stosowanych skrótów. Rozdział 2 jest jednostronicowy i dotyczy przedstawienia celu pracy oraz struktury dysertacji, co jest powtórzeniem spisu treści pracy.

Praca zawiera część teoretyczną i eksperymentalną, w tym część teoretyczna obejmuje rozdział 3-5 i mieści się na 48 stronach, część eksperymentalna (rozdziały 6-9) obejmuje 63 strony. Na podkreślenie zasługuje kończenie każdego z rozdziałów krótkim podsumowaniem, co pozwala płynnie przejść do kolejnego rozdziału i jest zaletą dysertacji.

Dorobek naukowy Doktoranta związany z rozprawą obejmuje 2 publikacje w czasopiśmie Inżynieria Bezpieczeństwa Obiektów Antropogenicznych opublikowane w 2025, w których Doktorant jest pierwszym i do korespondencji autorem pracy (The negative ultraviolet contrast of airborne objects) lub drugim autorem pracy (Photon counting measurements of UV solar-blind background radiation range 250-300 nm).

W części teoretycznej (rozdział 3: *Promieniowanie i sygnatury w zakresie ultrafioletu*) Doktorant omawia kluczowe prawa opisujące naturę promieniowania elektromagnetycznego: prawo Plancka, określające widmo promieniowania ciała doskonale czarnego; prawo Wiena, wiążące temperaturę z długością fali maksymalnej emisji; oraz prawo Stefana–Boltzmann, które kwantyfikuje całkowitą emisję energetyczną. Doktorant przybliży także definicje emisyjności, absorpcyjności, refleksyjności i transmisyjności, wraz z korelacją ich z relacjami opartymi na zasadzie zachowania energii, co tworzy podstawę analizy właściwości optycznych materiałów. Ponadto, Doktorant przedstawia zarówno klasyczne podziały fizyczne promieniowania UV (NUV, MUV, FUV, VUV, EUV), jak i biologiczno-medyczne (UVA, UVB, UVC), podkreślając, że skutki biologiczne wzrastają wraz ze skracaniem długości fali, a absorpcja w atmosferze determinuje proporcje promieniowania docierającego do powierzchni Ziemi.

Interesującym byłoby szersze spojrzenie na zagadnienia poruszane w rozdziale 3.3.2. związane z zjawiskiem chemiluminescencji.

W rozdziale 4 zatytułowanym *Promieniowanie ultrafioletowe w atmosferze ziemskiej i jego tłumienie* Doktorant szczegółowo i kompleksowo przedstawia budowę i właściwości atmosfery ziemskiej w kontekście procesów oddziaływania promieniowania elektromagnetycznego z materią atmosferyczną. Celem rozdziału 4 jest przedstawienie fizycznych podstaw tłumienia promieniowania w atmosferze, obejmujących absorpcję, rozpraszanie oraz modelowanie transferu energii promienistej przy użyciu równań i oprogramowania symulacyjnego MODTRAN, jednego z najczęściej stosowanych numerycznych narzędzi do symulacji transferu promieniowania i analizach energetycznych środowiska.

Doktorant, przekonująco stwierdza, iż zaproponowany model pozwala obliczać transmisję atmosfery w szerokim zakresie spektralnym (UV–FIR), uwzględniając różne profile atmosferyczne, modele odbicia (BRDF) oraz wielokrotne rozpraszanie.

Rozdział 5 pt.: *Czynniki wpływające na promieniowanie ultrafioletowe przy powierzchni Ziemi i metody pomiaru tego promieniowania* Doktorant poświęcił omówieniu złożonych procesów fizycznych i środowiskowych determinujących ilość oraz charakterystykę promieniowania ultrafioletowego docierającego do powierzchni Ziemi. Punktem wyjścia jest stwierdzenie, że choć promieniowanie UV stanowi niewielką część całkowitego widma słonecznego, jego krótka długość fali i wysoka energia powodują istotne skutki biologiczne, ekologiczne i zdrowotne. Doktorant, ma świadomość szkodliwości promieniowania UV na zdrowie ludzi i podkreśla, że nadmierna ekspozycja prowadzi do nowotworów skóry, starzenia się skóry, uszkodzenia oczu i zaburzeń immunologicznych, a w ekosystemach ogranicza wzrost roślin i aktywność fitoplanktonu.

W dalszej części rozdziału 5 Doktorant omawia szczegółowo czynniki wpływające na promieniowanie UV przy powierzchni, wśród których wymienia: kąt zenitalny Słońca (SZA), odległość Ziemia–Słońce, zawartość ozonu stratosferycznego (w tym zjawisko dziury ozonowej), zachmurzenie oraz odbicie od powierzchni Ziemi (albedo)

Ponadto, Doktorant omawia także metody pomiaru promieniowania UV, obejmujące:

- Pomiaru naziemne, realizowane przy użyciu trzech typów urządzeń: spektrometriów (np. Brewer, SUV 100, aparaty typu array), wielofiltrowych radiometrów wąskopasmowych oraz radiometrów szerokopasmowych.
- Pomiaru satelitarne, prowadzone za pomocą misji takich jak TOMS, GOME i OMI, które zapewniają dane o globalnym rozkładzie kolumny ozonowej i indeksie UV.
- Modele transferu promieniowania, wykorzystujące dane atmosferyczne i geometryczne do obliczeń teoretycznych (np. programy PcModWin, MODTRAN).

Rozdział 5.1. w części poświęca Doktorant omówieniu zagadnień dotyczących warstwy ozonowej, aczkolwiek przedstawia to zagadnienie bardzo pobieżnie. Proszę o przeanalizowanie zagadnienia dysertacji w aspekcie globalnego ocieplenia i dziury ozonowej w ujęciu bezpieczeństwa ekologicznego.

W podsumowaniu, rozdziału 5 Doktorant zdecydowanie stwierdza, że nie istnieją dowody na obecność promieniowania UV C (200–300 nm) przy powierzchni Ziemi, gdyż jest ono całkowicie pochłaniane przez tlen i ozon w atmosferze. W ramach kontynuacji badań Doktorant zapowiada opracowanie wysoko czułego systemu pomiarowego do detekcji ultrafioletowego tła powierzchniowego w zakresie 200–300 nm. Celem tego eksperymentu jest określenie, czy możliwa jest detekcja resztkowego promieniowania UV C, oraz ocena jego potencjalnych zastosowań technologicznych, w tym o znaczeniu wojskowym. Tym samym przechodząc płynnie do części eksperymentalnej dysertacji, czyli badań własnych.

Rozdział 6 pt.: *Licznik fotonów używany w detekcji ultrafioletowego (250-295nm) tła* jest pierwszym z czterech rozdziałów omawiających wyniki badań własnych Doktoranta i przedstawia metodologię badań. W rozdziale Doktorant omawia projekt, konstrukcję i kalibrację stacji pomiarowej przeznaczonej do detekcji tła promieniowania ultrafioletowego w zakresie UV C (250–295 nm), stanowiącej kluczowy etap eksperymentalnej części badań. Zdaniem Doktoranta zaproponowany system ma umożliwić rejestrację bardzo słabych sygnałów fotonowych pochodzących z promieniowania tła słonecznego, celem weryfikacji, czy jakakolwiek część widma UV C przedostaje się przez atmosferę do powierzchni Ziemi.

Skonstruowany, w celu wykonania eksperymentu system stacji obejmuje cztery główne bloki funkcjonalne: układ optyczny, monochromator, układ detekcji i przetwarzania sygnału z fotopowielaczem oraz moduł sterowania komputerowego.

Doktorant po zakończeniu kalibracji przeszedł do głównej i zasadniczej części zaplanowanych prac badawczych i umieścił instalację systemu na dachu Instytutu Optyki i Elektroniki (IOE) WAT a następnie wykonał serię testów terenowych w okresie czerwiec–październik 2023. Jako założenia wstępne przyjął rejestrowanie liczby fotonów w zakresie 200–300 nm z rozdzielczością 5 nm, powtarzając pomiary wielokrotnie w różnych porach dnia. Na podstawie przeprowadzonych, żmudnych i wielogodzinnych badań stwierdził, zmienność natężenia promieniowania tła wraz z czasem dobowym, obserwując maksimum około południa, oraz na obecność zakłóceń elektromagnetycznych i światła pasożytniczego. W celu ich ograniczenia Doktorant proponował i zastosował ekranowanie torów sygnałowych, metalowe obudowy, przewody ekranowane i optyczne osłony pochłaniające udowadniając tym samym dążność do optymalizacji układu pomiarowego i eliminacji błędów i zakłóceń.

W wyniku przeprowadzonych testów Doktorant potwierdził stabilność działania i wystarczającą czułość stacji pomiarowej do detekcji bardzo słabego promieniowania w zakresie UV C, podkreślając przy tym konieczność dalszej redukcji szumów i automatyzacji skanowania widma. Opracowany w ramach dysertacji system stanowi pierwszy etap badań eksperymentalnych nad istnieniem resztkowego promieniowania UV C przy powierzchni Ziemi, będących podstawą do dalszych analiz w zakresie możliwości jego wykorzystania w zastosowaniach naukowych i technologicznych.

Rozdział 7 pt.: *Promieniowanie ultrafioletowe tła* Doktorant poświęcił określeniu, czy w warunkach rzeczywistych w atmosferze występuje mierzalny poziom promieniowania ultrafioletowego w tzw. „obszarze solar blind”, czyli paśmie, w którym promieniowanie słoneczne teoretycznie nie powinno docierać do powierzchni Ziemi wskutek całkowitej absorpcji przez ozon i tlen. System pomiarowy składał się z lustrzanego układu optycznego, światłowodu, zespołu soczewka–zwierciadło, monochromatora pryzmatycznego SPM 2 oraz fotopowielacza ET 9402B, pracującego w trybie zliczania fotonów. Doktorant wykonując eksperyment pokusił się o wieloczynnikową analizę. W tym celu wykonał pomiar rozproszonego promieniowania nieba, a nie pomiar bezpośredniego światła słonecznego. Pomiary dokonano w sierpniu 2025, w godzinach 8:00–16:00, w paśmie 250–295 nm z rozdzielczością 5 nm i czasem akwizycji 10 s na długość fali. Czujnik ustawiano kolejno pod kątami 0°, 30° i 60° względem horyzontu oraz kierowano w stronę południa, wschodu i północy, by przeanalizować kierunkowe różnice natężenia.

Dlaczego wybrano sierpień 2025 jako reprezentacyjny miesiąc do przeprowadzenia eksperymentu? W jaki sposób termin badań koreluje z badaniami opisanymi w rozdziale 6, wykonanymi w 2023. Jakie parametry pogodowe uwzględniono? Wiadomym jest, iż oprócz dobowych i sezonowych zmian aktywności słonecznej istotny wpływ mają warunki

atmosferyczne i geometria obserwacji dlatego wymagana jest kontynuacja badań symulacyjnych i porównanie z modelami transferu promieniowania.

Przeprowadzone pomiary promieniowania ultrafioletowego w zakresie 250–295 nm dowodzą, że mimo dominującej absorpcji ozonowej, w atmosferze ziemskiej występuje mierzarne i zróżnicowane przestrzennie resztkowe promieniowanie tła (diffuse UV background). Wykrycie tego promieniowania potwierdza skuteczność opracowanej metodyki detekcji w paśmie solar blind i dostarcza podstaw do określenia realnych warunków pracy systemów obserwacyjnych działających w ultrafiolecie krótkofalowym. Uzyskane wyniki stanowią punkt odniesienia dla kalibracji i walidacji satelitarnych algorytmów detekcji UV, a także fundament do opracowania modeli predykcyjnych dla systemów Missile Warning i czujników środowiskowych. Dane empiryczne potwierdzają zgodność między rezultatami pomiarów naziemnych i teoretycznymi modelami transferu promieniowania.

W rozdziale 8 pt.: *Negatywny kontrast obiektów powietrznych w pasmie 300-400nm* Doktorant przedstawia zagadnienia ujemnego kontrastu optycznego (negative contrast) w zakresie ultrafioletu bliskiego (300–400 nm), istotnego dla systemów wykrywania celów powietrznych, zwłaszcza w kontekście współczesnych konfliktów zbrojnych i dynamicznego rozwoju bezzałogowych statków powietrznych. W sytuacjach bojowych, gdy zakres promieniowania w podczerwieni jest coraz częściej zakłócany przez środki przeciwdziałania – szczególnie systemy DIRCM (Directional Infrared Countermeasures) – zastosowanie kanału UV stanowi alternatywny i mniej podatny na zakłócenia sposób detekcji.

W analizie optycznej Doktorant uwzględnił następujące zjawiska: promieniowanie słoneczne bezpośrednie i rozproszone, emisję termiczną atmosfery, promieniowanie odbite od powierzchni oraz własne promieniowanie celu. Obiekt nieemitujący i pochłaniający UV (np. kadłub samolotu) powoduje powstanie ujemnego kontrastu $C_{neg} = (EB - ET)/EB$, którego wartość maleje wraz z odległością R obserwacji i wzrostem rozpraszania atmosferycznego. Symulacje, przeprowadził w środowisku PcModWin/MODTRAN dla lokalizacji Warszawa i Hanoi. Uzyskane podczas pomiarów wyniki wskazują na stosunkowo dobrą zgodność między symulacjami a pomiarami, co potwierdza poprawność zastosowanych przez Doktoranta modeli numerycznych. Zaobserwowano zmniejszenie kontrastu z $\approx 87\%$ przy 50 m do $\approx 30\%$ przy 1 km odległości, zgodnie z przewidywaniami teoretycznymi, co należy uznać za sukces Doktoranta.

Doktorant stwierdza, iż widzialność atmosferyczna i stężenie aerozoli są głównymi czynnikami ograniczającymi zasięg detekcji, natomiast mniejszą rolę odgrywa intensywność promieniowania słonecznego. Proszę o rozwinięcie zagadnienia stężenia i rodzaju areozoli. Rozpraszanie ogranicza praktyczny zasięg jedynie w warunkach wzmożonego zanieczyszczenia lub mgły/smogu.

Zjawisko negative contrast w ultrafiolecie potwierdza, że możliwe jest pasywne wykrywanie obiektów powietrznych na tle promieniowania słonecznego przy użyciu czujników o wysokiej czułości i odpowiednio dostosowanych filtrach widmowych. Otrzymane wyniki badań w ramach dysertacji dostarczają podstaw ilościowych do projektowania nowych systemów obserwacji optoelektronicznej oraz udoskonalenia symulacyjnych modeli kontrastu w paśmie UV. Detekcja w ultrafiolecie rozszerza funkcjonalność klasycznych kanałów w zakresie promieniowania IR, umożliwiając skuteczniejsze odróżnianie celów rzeczywistych od flar i innych źródeł zakłóceń dzięki odmiennemu znakowi kontrastu. Kanał UV stanowi tym samym nie tylko wsparcie, ale też integralny element wspólnych systemów wizyjnych wykorzystywanych w nowoczesnych głowicach naprowadzających i sensorach obronnych.

Rozdział 9 pt.: *Detekcja promieniowania ultrafioletowego emitowanego przez strugi wylotowe silników raketowych* Doktorant rozpoczyna od analizy zjawiska emisji promieniowania ultrafioletowego przez strugi gazowe silników raketowych (rocket plumes) oraz możliwości jego wykrywania w paśmie tzw. solar blind (250–295 nm). Celem przeprowadzonych badań było określenie zależności między intensywnością chemiluminescencyjnego promieniowania płomieni raketowych, tłumieniem atmosferycznym a parametrami detektorów UV – w kontekście zastosowań wojskowych, przede wszystkim w systemach ostrzegania przed pociskami (Missile Warning Systems, MWS).

W przeciwieństwie do IR, pasmo środkowego ultrafioletu (MUV) i solar blind UV charakteryzuje się minimalnym tłem naturalnym, ponieważ promieniowanie słoneczne jest niemal całkowicie pochłaniane przez ozon. Dzięki temu detektory UV mogą pracować w środowisku o bardzo wysokim stosunku sygnału do szumu i wykrywać nawet słabe źródła, takie jak ślady silników raketowych. Wadą jest jednak silne tłumienie atmosferyczne w tym zakresie, ponieważ promieniowanie ulega absorpcji i rozpraszaniu na ozonie oraz aerozolach. Doktorant obliczenia sygnału ze strugi wylotowej wykonał dwuetapowo, przeprowadzając symulację gazodynamiczną (CFD), która pozwoliła na określenie rozkładów temperatury i stężenia produktów spalania (CO, O, OH, Al₂O₃). Ponadto, rozwiązanie równania transferu promieniowania (RTE) umożliwiło wyznaczenie widmowej intensywności emisji.

W kolejnym kroku badawczym Doktorant omawia dwa podstawowe mechanizmy promieniowania takie jak:

- chemiluminescencje reakcji $\text{CO} + \text{O} \rightarrow \text{CO}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + h\nu^*$, której ciągłe widmo (250–300 nm) jest dominujące w zakresie UV C,
- promieniowanie cieplne i rozpraszanie na drobinach tlenku glinu (Al₂O₃) powstałych w procesie spalania paliw na bazie Al.

Wśród wniosków badawczych sformułowanych przez Doktoranta należy wyróżnić sugestię, iż nowoczesne detektory AlGa_xN oferują najwyższą czułość przy minimalnym poziomie szumów, stanowiąc realną alternatywę dla fotopowielaczy. Wiadomym jest, iż fotodiody i matryce Al_xGa_{1-x}N wykazują naturalną selektywność spektralną, wysoką kwantową efektywność (≈ 90%) i minimalny prąd ciemny, stanowiąc perspektywiczne rozwiązanie dla matryc ogniskowych MAW. Redukują potrzebę stosowania filtrów optycznych i obniżają masę systemu względem tradycyjnych fotopowielaczy. Proszę o przedstawienie charakterystyki detektorów oraz ich implementacji do tego doktoratu.

Doktorant konkluduje, iż chemiluminescencja CO + O jest głównym źródłem promieniowania w zakresie 250–290 nm; zaś reakcje wtórne z udziałem Al i OH oraz drobin Al₂O₃ znacząco wzmacniają emisję. Proszę o teoretyczną analizę różnych źródeł zasilania (składu paliw).

Dodatkowo, Doktorant stwierdza, iż wielkość i rozkład aerozoli determinują propagację sygnału UV-C; a widzialność atmosferyczna stanowi główne ograniczenie zasięgu detekcji.

Obliczenia SNR wskazują, że zasięg detekcji emisji UV z rakiety jest porównywalny z widzialnością atmosferyczną ok. 5-10 km dla warunków vis. > 20 km. Przy mgłę lub wysokim zapyleniu zasięg spada poniżej 2-3 km. Proszę o przedstawienie kilku scenariuszy polepszenia widzialności atmosferycznej.

Podsumowując, analiza propagacji i detekcji promieniowania ultrafioletowego emitowanego przez strugi wylotowe gazów silników raketowych (plumes) w zakresie solar blind (250–295 nm) dowodzi, że w tych warunkach spektralnych możliwe jest skuteczne rozpoznawanie startów i lotu pocisków, pod warunkiem uwzględnienia korekty na silne tłumienie atmosferyczne oraz tło radiacyjne. Połączenie modelowania radiacyjnego

(CFD + RTE + MODTRAN) z nowoczesnymi detektorami AlGaIn umożliwia realistyczną ocenę zasięgu i prawdopodobieństwa detekcji w systemach wczesnego ostrzegania MAW (Missile Approach Warning).

Dyskusja otrzymanych wyników badań eksperymentalnych nie budzi zastrzeżeń. Doktorant zaproponował prawidłową metodologię badań stanowiącą logiczną i konsekwentną próbę wykazania, w kolejnych etapach badań, słuszności założeń i osiągnięcie podstawowych celów, jakimi było przeanalizowanie zarówno naturalnego promieniowania UV (promieniowania słonecznego), jak i promieniowania UV generowanego przez cele (źródła sztuczne), a także osłabienia tych składowych promieniowania podczas propagacji w atmosferze. Doktorant analizę tematu oparł o wieloaspektowe spojrzenie na zagadnienie i zaproponował oraz zrealizował badania poprzez połączenie analizy teoretycznej, modelowania numerycznego z użyciem obliczeniowego kodu MODTRAN oraz pomiarów eksperymentalnych.

Opracowanie i kalibracja wysokoczułej stacji do pomiaru tła promieniowania ultrafioletowego w zakresie 250–295 nm umożliwia eksperymentalną weryfikację hipotezy o całkowitej absorpcji promieniowania UV C przez atmosferę ziemską. Zastosowanie zintegrowanego układu monochromatora przyrządowego, fotopowielacza o dużym wzmacnieniu i toru optycznego o minimalnych stratach pozwala na detekcję sygnałów fotonowych o ekstremalnie małej intensywności, co otwiera możliwość empirycznej oceny granicznej przepuszczalności atmosfery dla promieniowania krótkofalowego.

Przedstawione wyniki badań i wnioski będące rezultatem realizacji poszczególnych zadań wzbogacają wiedzę na temat proponowanych rozwiązań oraz są przyczynkiem do zaproponowania przez Doktoranta dwóch reprezentatywnych zastosowań obejmujących: wykrywanie celów powietrznych w bliskim zakresie nadfioletu (300–400 nm) w oparciu o zjawisko ujemnego kontrastu pomiędzy celem a tłem oraz detekcja gazów wylotowych rakiet w tzw. obszarze niewrażliwym na promieniowanie słoneczne (solar-blind).

Wśród istotnych elementów nowości w dysertacji należy wyróżnić:

1. zaprojektowanie, skalibrowanie i uruchomienie przez Doktoranta stacji pomiaru promieniowania UV, wykorzystującego lampę fotopowielacza pracującą w trybie zliczania fotonów w zakresie spektralnym 250–295 nm.
2. Wykonanie pomiarów promieniowania tła UV w rzeczywistych warunkach atmosferycznych.
3. Udowodnienie na podstawie przeprowadzonych pomiarów, że obszar niewidoczny dla słońca nie jest całkowicie wolny od promieniowania tła UV indukowanego przez słońce; natomiast nadal występuje pewien poziom promieniowania tła.
4. Określenie, iż wielkość promieniowania tła UV zależy od różnych czynników, takich jak kąt zenitu Słońca, zachmurzenie, aerozole, wysokość i stężenie ozonu w atmosferze.
5. Udowodnienie, że promieniowanie tła UV jest obecne w obszarze niewidocznym dla słońca i musi być uwzględniane w ocenach skuteczności wykrywania celów.
6. Analiza zjawiska ujemnego kontrastu statków powietrznych w zakresie widmowym bliskiego ultrafioletu (300–400 nm).
7. Porównanie wyników ujemnego kontrastu z pomiarami eksperymentalnymi uzyskanymi z wykorzystaniem fotodiody Si-PiN (poprzez opracowanie modelu obliczeniowego opartego na promieniowaniu tła, radiancji ścieżki i transmitancji atmosferycznej obliczonych za pomocą oprogramowania MODTRAN).

8. Udowodnienie, dobrej zgodności między symulacjami a danymi eksperymentalnymi.
9. Stwierdzenie, na podstawie analizy zasięgu detekcji opartej na stosunku sygnału do szumu, że wykrywalność celu jest silnie skorelowana z widzialnością meteorologiczną i stopniem rozproszenia promieniowania UV powodowanego przez aerozole.
10. Analiza zdolności detekcji promieniowania UV emitowanego przez palmy silników rakietowych.
11. Zidentyfikowanie i zamodelowanie dominujących źródeł promieniowania, w tym chemiluminescencję i mechanizmy emisji związane z cząstkami.
12. Udowodnienie, iż analiza detekcji oparta na SNR w obszarze niewidocznym dla Słońca pokazuje, że promieniowanie tła UV i warunki atmosferyczne mają istotny wpływ na wydajność systemów detekcji UV.

Zbudowana przez Doktorantów stacja stanowi platformę referencyjną dla kolejnych badań nad tłem ultrafioletowym oraz bazę do testowania zaawansowanych czujników UV w zastosowaniach środowiskowych, teledetekcyjnych i obronnych.

Głównym osiągnięciem Doktoranta jest wykazanie możliwości oraz ograniczeń detekcji opartej na promieniowaniu UV w zastosowaniach obronnych. Uzyskane wyniki potwierdzają, że pomimo krótkich zasięgów propagacji, detekcja UV zapewnia korzystny stosunek sygnału do tła w paśmie solar-blind, umożliwiając wiarygodne ostrzeganie o starcie pocisków przy zmniejszonym prawdopodobieństwie fałszywych alarmów. Ponadto Doktorant wykazał, że obrazowanie w bliskim nadfiolecie może zwiększyć skuteczność detekcji celów powietrznych przy wykorzystaniu negatywnego kontrastu.

W pracy Doktorant popełnił kilka błędów natury technicznej. Np. w tabeli 2 dla wodoru podano błędną wartość masy cząsteczkowej (molecular weight).

Rysunki: 1, 5, 6, 7, 8, 9, 20, 22, 24, 28, 31, 32, 37, 38, 60, 61, 75, 76, mają w podpisie podany odnośnik literaturowy. Rozumiem, iż zostały opracowane osobiście na bazie podanego źródła przez Doktoranta i nie są kopią z innych prac.

Należy podkreślić, iż praca jest napisana dobrym, komunikatywnym językiem angielskim. Pod względem edytorskim jest przygotowana starannie.

Podsumowując, pomimo wyrażonych powyżej zastrzeżeń uważam, że Pan mgr inż. Ngoc Hiep Doan przedstawił interesującą pracę w ujęciu teoretycznym i praktycznym, popartą eksperymentem, wnioski z której na pewno są cenne dla rozwoju badań nad elektroniką, elektrotechniką i technologiami kosmicznymi dla zastosowań wojskowych.

Z perspektywy zastosowań, uzyskane wyniki mają praktyczne znaczenie dla projektowania, modelowania i oceny wydajności systemów czujników UV w zastosowaniach obronnych oraz wykazują zalety i wady proponowanych rozwiązań, co Doktorant trafnie wykorzystuje do sformułowania kolejnych celów badawczych na zakończenie pracy, co świadczy o jego dojrzałości naukowej i potwierdza właściwie opanowany proces metodologii badań naukowych, gdzie zakończenie pewnego etapu badań jest początkiem nowych odkryć.

Doktorant kończy dysertację stwierdzeniem, iż przyszłe prace mogą rozszerzyć pomiary promieniowania tła UV na wiele lokalizacji geograficznych i zróżnicowane warunki atmosferyczne, aby stworzyć kompleksową bazę danych, która umożliwi bardziej rzetelną i wiarygodną ocenę istnienia i roli promieniowania tła UV oraz jego potencjalnych zastosowań wojskowych.

W rezultacie badania nad promieniowaniem ultrafioletowym w atmosferze i jego zastosowaniami militarnymi stanowią ważny kierunek rozwoju nowoczesnych technologii sensorycznych, optoelektronicznych i kosmicznych, wzmacniając potencjał naukowy oraz aplikacyjny dyscypliny automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne. Zaproponowane kierunki badań przyczyniają się do lepszego zrozumienia propagacji promieniowania UV oraz stanowią podstawę do rozwoju zaawansowanych systemów detekcji UV w zastosowaniach obronnych.

Uwagi, które nasunęły mi się w trakcie czytania rozprawy nie mają zasadniczego wpływu na pozytywną ocenę pracy.

Podsumowując, stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Ngoc Hiep Doan pt.: „Ultraviolet radiation in the atmosphere and its applications for military purposes” spełnia wymogi formalne stawiane rozprawom doktorskim i wnoszę do Rady Dyscypliny Naukowej Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne WAT o dopuszczenie go do dalszych etapów przewodu doktorskiego.