Recenzja spełnia wymogi formalne

dr hab. inż. **Zbigniew Łosiewicz**, *prof. ZUT*
st. of. mech. okr.
Wydział Techniki Morskiej i Transportu
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
Al. Piastów 41, 71-065 Szczecin

Szczecin, 20 listopada 2024 r.

R E C E N Z J A

rozprawy doktorskiej mgra Michała Bukały

pt. System automatycznej detekcji i klasyfikacji zdarzeń akustycznych związanych z przelotami statków powietrznych

Rozprawa doktorska przygotowana została na Wydziale Budownictwa Politechniki Śląskiej, ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice.

Promotorem jest:

dr hab. inż. Artur Nowoświat, prof. PŚ

Opiekunem:

dr inż. Andrzej Chyla.

1. Podstawy opracowania opinii

Podstawą formalną opracowania niniejszej opinii stanowi pismo z dnia 30.10.2024 r. Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Śląskiej, Pana dr hab. inż. Piotra Folęgi, prof. PŚ, zawierające zlecenie wykonania niniejszej recenzji.

Podstawę merytoryczną opracowania opinii stanowił załączony do zlecenia kompletny tekst rozprawy doktorskiej mgra Michała Bukały pod tytułem jak wyżej.

Podstawę prawną recenzji stanowi Ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2018r. poz. 1669, z późn. zm.).

2. **Przedmiot rozprawy**

Rozprawa Pana mgra Michała Bukały dotyczy bardzo aktualnego problemu opracowania **systemu automatycznej detekcji i klasyfikacji zdarzeń akustycznych związanych z przelotami statków powietrznych**. Mimo podejmowania prób zmiany akcentów w rozwoju różnych gałęzi transportu w ramach idei zrównoważonego rozwoju, widoczny jest ciągły

POLITECHNIKA ŚLĄSKA
Rada Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport
wpłynęło dnia 29.11.2024
nr 259 zał. —

Wpłynęło dnia 26.11.2024 r.

wzrost udziału transportu powietrznego w transporcie globalnym. Stan taki jest następstwem przewagi zalet tego transportu opartych na relatywnie krótkim czasie przemieszczania ludzi i ładunków, wysokim poziomie bezpieczeństwa (wynikającego z rozwoju techniki, technologii, rygorystycznego prawa, norm lotniczych i rygorystycznej selekcji operatorów statków powietrznych) jak i dużej odporności na zawirowania geopolityczne i anomalia klimatyczne. Dlatego też bardzo ważne jest prowadzenie działań i badań nad zarządzaniem negatywnymi następstwami ruchu lotniczego. Do negatywnych zjawisk ruchu lotniczego należy także hałas zaliczany do zanieczyszczeń środowiska. Hałas nie tylko powoduje dyskomfort mieszkańców obszarów szczególnie leżących na trasach podejściowych statków powietrznych, ale może mieć także wpływ na zdrowie fizyczne jak i psychiczne ludzi narażonych na długotrwałe lub cykliczne działanie fal akustycznych, w tym hałas.

Autor rozprawy przedstawił propozycję metody analizy danych pomiarowych, umożliwiającej automatyczną detekcję zdarzeń akustycznych, związanych z operacjami lotniczymi, oraz opisuje sposób jej wdrożenia w rzeczywistym systemie pomiarowym.

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów poziomu dźwięku hałasu generowanego przez jednostki powietrzne stosując 1/3-oktawową analizę widmową i wykorzystując techniki uczenia głębokiego Doktorant opracował *„architekturę konwolucyjnej sieci neuronowej, zdolnej do efektywnej ekstrakcji kluczowych cech sygnału, przy narzuconej techniką pomiarową reprezentacji sygnału wejściowego"*. Opracował sposób interpretacji wskazań przedstawionego modelu, który pozwolił na identyfikację zdarzeń akustycznych ze skutecznością 97%.

Autor rozprawy dokonał analizy dostępnej wiedzy teoretycznej jak i podjął badania eksperymentalne w realnych warunkach środowiskowych w obszarach natężonego ruchu lotniczego w celu weryfikacji sformułowanych na podstawie wiedzy teoretycznej tez.

Zakres rozprawy jest ważny, ponieważ ciągle rośnie zainteresowanie tematami związanymi ze zrównoważonym rozwojem w rozumieniu rozwoju techniki i technologii przy minimalizowaniu szkodliwych następstw rozwoju cywilizacyjnego.

Samo sformułowanie tematu rozprawy należy uznać za właściwe i odpowiadające współczesnym potrzebom nauki jak i utylitarnym potrzebom szeroko pojętej gospodarki. Informacje uzyskane w wyniku badania zdarzeń akustycznych związanych z eksploatacją statków powietrznych oraz klasyfikacji tych zdarzeń jak i towarzyszących im następstw pozwalają na rozszerzenie obszaru wiedzy dotyczącego zanieczyszczenia środowiska hałasem generowanym przez jednostki latające, a także możliwość użycia tych danych oraz wyników badań np. w celach identyfikacji np. latających jednostek autonomicznych lub militarnych.

Doktorant podejmując naukowe podejście do zagadnienia *automatyzacji sposobu prowadzenia monitoringu hałasu lotniczego, przy użyciu 1/3-oktawowej analizy widmowej z małą rozdzielczością czasową do analizy rzeczywistego sygnału akustycznego, przy zastosowaniu sztucznych sieci neuronowych w celu uzyskania informacji wystarczających do identyfikacji zdarzeń akustycznych związanych z hałasem generowanym przez jednostki latające z precyzją znacznie przekraczającą aktualne wymagania* wpisuje się w wypełnienie luki badawczo - technologicznej w zakresie metodyki identyfikacji tego typu zjawisk.

Uważam, że tematyka recenzowanej rozprawy mgra M. Bukały dotycząca badań nad automatyczną detekcją i klasyfikacją zdarzeń akustycznych związanych z przelotami statków powietrznych była dużym wyzwaniem, przy równoczesnym dużym znaczeniu poznawczym i utylitarnym.

Rozprawa składa się ze 151 stron, spisu skrótów i oznaczeń, wstępu, ośmiu rozdziałów i podsumowania. Zawiera spis bibliografii, w tym 61 pozycji literaturowych (w tym 1 autorską i 2 współautorskie), 18 norm i aktów normatywnych, 10 pozycji stron internetowych, 84 rysunki, 26 tabel, 2 dodatki. Większość pozycji literaturowych jest anglojęzycznych.

1. Ocena merytoryczna i opis przeprowadzonych badań

Recenzowana rozprawa składa się ze wstępu, ośmiu zasadniczych rozdziałów merytorycznych oraz podsumowania z wnioskami końcowymi i wytyczonym kierunkiem dalszych badań Autora.

W Rozdziale 1. ***Wprowadzenie*** (str. 8-13) Autor przedstawił argumentację uzasadniającą podjęcie badań będących tematem rozprawy oraz scharakteryzował problematykę hałasu lotniczego, główne problemy badawcze, cel i tezę pracy oraz zakres rozprawy.

Uzasadniając podjęcie tematu badań zwrócił uwagę na dynamiczny rozwój lotnictwa, a co za tym idzie wzrost zanieczyszczeń środowiska, w tym hałasu. Przedstawił elementy generujące hałas i typy jednostek latających warunkujących hałas o określonej specyfice. Jako podstawowe parametry hałasu przyjął poziom dźwięku, indywidualne widmo generowanego poziomu ciśnienia akustycznego, kierunkowość emisji. Przedstawił środowisko rozchodzenia się fal akustycznych oraz trudności związane z parametryzacją fal akustycznych pochodzących ze zróżnicowanych źródeł.

W punkcie 1.2. Rozdziału 1. rozprawy mgr Michał Bukała przedstawił cel rozprawy i tezę.

Jako podstawowy **cel pracy** Doktorant wskazał wprowadzenie możliwości *automatycznej detekcji i klasyfikacji w systemach ciągłego monitoringu hałasu zainstalowanych w wybranych*

punktach pomiarowych lotnisk będących konsekwencją zdarzeń akustycznych związanych z ruchem statków powietrznych.

Równocześnie wskazuje, że zasadniczy cel pracy osiągnął poprzez wykonanie kolejnych etapów badań polegających na:

a) przeprowadzeniu badań terenowych, umożliwiających zarejestrowanie wystarczającej do analiz ilości danych akustycznych i danych towarzyszących,

b) utworzeniu oraz weryfikacji etykietowanych zbiorów danych,

c) opracowaniu koncepcji algorytmu detekcji zdarzeń akustycznych,

d) realizacji koncepcji i badaniu własności opracowanej metody,

e) wdrożeniu metody.

Mgr Michał Bukała Tezę rozprawy sfomułował następująco:

Sygnał akustyczny, poddany 1/3-oktawowej analizie widmowej z małą rozdzielczością czasową, zawiera informacje wystarczające do identyfikacji zdarzeń akustycznych związanych z emisją hałasu lotniczego, z precyzją znacznie przekraczającą aktualne wymagania, w przypadku jego analizy przy zastosowaniu sztucznych sieci neuronowych.

Część zasadnicza rozprawy rozpoczyna się od przedstawienia przez Autora w **Rozdziale 2.** (str. 15-24) ***Wybrane zagadnienia akustyki w lotnictwie*** podstawowych pojęć takich jak fala akustyczna, ciśnienie akustyczne, poziom ciśnienia akustycznego i poziom dźwięku A, równoważny poziom dźwięku A, poziom ekspozycji na hałas. Opisał proces i specyfikę analizy częstotliwościowej oraz filtry 1/3-oktawowe. Przedstawił charakterystykę sygnałów akustycznych generowanych przez statki powietrzne. Opisał cechy najczęściej stosowanych na lotniskach systemów monitoringu hałasu lotniczego, podstawowe składowe systemów oraz osiągnięcia innych autorów przedstawione w cytowanej literaturze. Celem było pokazanie systemów monitorowania hałasu instalowanych na lotniskach pod kątem ich cech funkcjonalnych takich jak pomiar sygnału, raportowanie, gromadzenie i analiza danych, a także równolegle monitorowanie tras lotów samolotów i warunków meteorologicznych, co pozwala m. in. ocenę zasięgów hałasu lotniczego. W pracy podkreślono ważność takich badań i działań dla społeczności w obszarach przylotniskowych. Na podstawie przytoczonej literatury przedstawił metody detekcji zdarzeń akustycznych w aspekcie obowiązującego prawa dotyczącego tematu.

Rozdział 3 (str.29-40) ***Sztuczne sieci neuronowe*** jest bardzo ważną częścią teoretyczną rozprawy. Autor opisał podstawowe założenia sieci neuronowych, przedstawił charakter i sposób funkcjonowania konwolucyjnych sieci neuronowych, oraz rekurencyjnych sieci neuronowych. Przedstawił ocenę skuteczności i jakości modelu. W rozdziale tym uzasadnia

wybór przyjętej medyki i użytych, wybranych narzędzi matematycznych niezbędnych do analizy uzyskanych danych rzeczywistych jak i oszacowania uzyskanych wyników.

Rozdział 4 (str. 41 - 74) ***Badania terenowe*** jest bardzo ważną częścią eksperymentalną rozprawy. Doktorant przedstawił w nim metodykę wyboru i charakterystykę punktów pomiaru hałasu oraz opisał zastosowaną aparaturę pomiarową. W sposób przejrzysty przedstawił pomiary emisji hałasu lotniczego służące do opracowania charakterystyk badanych lotnisk tj. Portu Lotniczego im. Lecha Wałęsy w Gdańsku i Międzynarodowego Portu Lotniczego im. Wojciecha Korfantego w Pyrzowicach. Lotniska te zostały wytypowane celowo, przede wszystkim ze względu na charakterystyki obsługiwanych statków powietrznych, jak również ze względu na dobrze (według Autora) zdefiniowane trasy startów i lądowań. Autor uznał, że czynniki te mają istotny wpływ na charakterystykę widmową hałasu, rejestrowanego przez punkty monitoringu hałasu lotniczego, co szczegółowo omówił podrozdziale 4.5.

Na podstawie porównania widm i historii czasowych startów, lądowań i przelotów statków powietrznych różnych typów tj. turboodrzutowego samolotu B738 oraz turbośmigłowego ATR72 przedstawiających znaczną zmienność sygnałów, Autor stwierdził, że utrudnia to dobór zestawu takich parametrów sygnału, który w sposób uniwersalny i niewymagający pracochłonnego strojenia dla odmiennych lokalizacji punktów pomiarowych pozwoliłby na ich efektywną kategoryzację. Dlatego też na wybranych lotniskach przyjęto manualną metodę klasyfikacji przy wsparciu dedykowanego oprogramowania. W pracy przedstawiono ocenę jakości i przydatności pozyskanych danych i wyselekcjonowano podstawowe błędy występujące podczas obróbki danych. Ważnym elementem badań było przeprowadzenie analizy czasów trwania zdarzeń akustycznych oznaczonych przez operatorów, dla poszczególnych punktów pomiarowych. Wyniki tych analiz przedstawiono na odpowiednich wykresach.

Jako jedno z podstawowych założeń determinujących kierunek badań, przyjęto występowanie różnic w 1/3-oktawowym widmie hałasu lotniczego oraz tła akustycznego, wystarczających do odróżnienia tych dwóch zjawisk, co potwierdziły przeprowadzone badania.

Rozdział 5 (str.75 - 87) ***Koncepcja systemu detekcji*** stanowi jeden z kluczowych rozdziałów rozprawy. Najczęściej podstawowym zadaniem systemów monitoringu hałasu lotniczego jest wyodrębnienie zdarzeń akustycznych generowanych podczas przelotu statków powietrznych sprowadzający się do wyznaczenia czasu rozpoczęcia i zakończenia zdarzenia akustycznego. W oparciu o źródła literaturowe Autor precyzyjnie przedstawił różne podejścia do tematu. Na podstawie istniejących rozwiązań za podstawowe założenie przyjął wykorzystanie *wskaźnika identyfikacji hałasu lotniczego* występowania hałasu lotniczego. Podejście to, oparte zostało na

idei stacji monitoringu hałasu, rejestrującej parametry w kolejno następujących próbkach przy zastosowaniu konwolucyjnej lub rekurencyjnej sieci neuronowej, operującej na 1/3 - oktawowych widmach częstotliwościowych.

Autor dokonał zestawienia klasycznej i neuronowej metody detekcji. Na potrzeby pracy stworzył aplikację z interfejsem umożliwiającym wczytanie i wyświetlenie danych akustycznych oraz wyświetlenie i eksport wykrytych przy użyciu wybranych metod zdarzeń akustycznych. Przeanalizował takie metody jak „*Wieloprogowa*" oraz „*CNN*", porównał je precyzyjnie określając zalety i ograniczenia. Konsekwencją powyższych analiz było wypracowanie własnego modelu. Autor przedstawił proces kształtowania takiego modelu warunkowanego także czynnikami zewnętrznymi (COVID -19), co spowodowało decyzję o uproszczeniu modelu.

W rozdziale 6 (str. 88 -113) ***Badanie możliwości konwolucyjnych sieci neuronowych w zakresie klasyfikacji hałasu lotniczego*** Autor rozprawy przedstawił badanie możliwości konwolucyjnych sieci neuronowych w zakresie klasyfikacji hałasu lotniczego. Metodycznie przedstawił problemy występujące przy kształtowaniu środowiska testowego, przygotowania zbiorów danych treningowych i walidacyjnych, problemy błędów w etykietowaniu danych w otoczeniu innych zdarzeń, ramek mieszanych, zidentyfikowanych zakłóceń, nietypowych zdarzeń.

Kluczowymi w przedstawieniu projektowania systemu są podrozdziały 6.3 *Badane modele konwolucyjnych sieci neuronowych* oraz 6.4 *Eksperyment 1: wybór strategii przetwarzania danych wejściowych*, w których Doktorant przedstawił założenia wyboru procedur badawczych, metodę oceny jakości predykcji, wyniki eksperymentów, wybór architektury sieci opartych na badaniach, założenia i metodę oceny opartej na wynikach eksperymentów.

Rozdział 7 (str. 114 -127) ***Badanie możliwości zastosowania sieci neuronowych w systemie detekcji zdarzeń akustycznych*** zawiera metodykę przygotowania zbiorów danych strojących i testowych, opis *eksperymentu 3* dotyczącego procesu klasyfikacji dla sieci CNN. Opisy tego eksperymentu przedstawiają założenia i metodę oceny, etap treningu, etap strojenia, testy końcowe. Przedstawione *eksperymenty 4* zawierają badanie możliwości zastosowania sieci rekurencyjnych.

W Rozdziale 8 (str. 128-129) ***Zastosowania w systemach pomiarowych*** Autor wskazuje, że opracowany model monitoringu zdarzeń akustycznych generowanych przez ruch lotniczy został wdrożony w dwóch, należących do firmy SVANTEK, systemach. Pierwszy z nich, to stosowane w dziale Laboratorium Badawczego oprogramowanie SMHL, stosowane do identyfikacji i korelacji zdarzeń akustycznych związanych z operacjami lotniczymi na potrzeby

obsługiwanych przez Laboratorium systemów monitoringu hałasu lotniczego na pięciu lotniskach w Polsce.

Autor wskazuje równocześnie, że dalsze prace rozwojowe uwzględniać będą automatyzację procesu korelacji wykrytych zdarzeń z wykazywanymi przez porty lotnicze statkami powietrznymi.

Drugim systemem, w którym zastosowano badany algorytm, jest dostępna dla klientów firmy platforma SvanNET. Wdrożenie rozwiązania rozszerzyło jej możliwości o wskazywanie na dostępnych dla użytkowników wykresach historii czasowych fragmentów sygnału, w których dominuje hałas lotniczy.

System umożliwia także obliczanie wskaźników oceny hałasu, takich jak ekspozycyjny poziom dźwięku LAE. W przypadku przekroczenia ustalonego limitu generowane są alarmy, informujące użytkowników, takich jak porty lotnicze, o wykonaniu operacji lotniczej w sposób powodujący generację zbyt dużego poziomu hałasu. Takie bieżące alarmowanie pozwala na podejmowanie efektywnych działań, mających na celu takie wpłynięcie na przewoźników i operatorów, aby eliminować tego typu sytuacje. Są one najczęściej powiązane z niedotrzymaniem procedur startu bądź lądowania. Automatyczne wykrywanie takich incydentów może mieć wpływ także na poprawę bezpieczeństwa lotu.

Rozprawę kończy rozdział ***Podsumowanie i wnioski*** (str.130 - 131), w którym mgr Michał Bukała dokonał podsumowania wykonywanych badań, eksperymentów, analiz i obliczeń opisanych w rozprawie. Zaakcentował autorskie innowacyjne rozwiązania zastosowane w metodzie badawczej. Przedstawił utylitarne wartości zastosowania opracowanej metody.

Wnioski podsumował zasadnym stwierdzeniem, że w toku badań potwierdzono jednoznacznie następującą tezę pracy badawczej: *Sygnał akustyczny, poddany 1/3-oktawowej analizie widmowej z małą rozdzielczością czasową, zawiera informacje wystarczające do identyfikacji zdarzeń akustycznych związanych z emisją hałasu lotniczego, z precyzją znacznie przekraczającą aktualne wymagania, w przypadku jego analizy przy zastosowaniu sztucznych sieci neuronowych potwierdziła wysuniętą na wstępie tezę.*

Praca zawiera także dwa *Dodatki* o tytułach:

- *A. Szczegóły badanych architektur sieci*
- *B. Szczegółowy opis implementacji systemu detekcji.*

2. Formalna ocena rozprawy.

Praca jest napisana poprawnie i dobrze sformatowana. Ma przejrzysty i schludną formę. Rysunki i tabele są przemyślane i wykonane bardzo starannie i czytelnie.

Podział rozprawy na rozdziały i podpunkty jest logiczny i czytelny.

Sformułowane przez Doktoranta myśli są jasne i jednoznaczne, a przytaczane argumenty trafne i logicznie wkomponowane w treść pracy. Poszczególne frazy i rozdziały dobrze komponują się w całość pracy. Podział treści na rozdziały ujmują wszystkie istotne elementy tematu rozprawy. Właściwy układ rozdziałów polega na konsekwentnej kontynuacji tematu i celu pracy.

W toku badań potwierdzono jednoznacznie następującą tezę pracy badawczej:

Sygnał akustyczny, poddany 1/3-oktawowej analizie widmowej z małą rozdzielczością czasową, zawiera informacje wystarczające do identyfikacji zdarzeń akustycznych związanych z emisją hałasu lotniczego, z precyzją znacznie przekraczającą aktualne wymagania, w przypadku jego analizy przy zastosowaniu sztucznych sieci neuronowych.

W trakcie badań zgromadzono oraz dokonano etykietowania blisko 9 000 godzin sygnału akustycznego w formie próbek widma 1/3-oktawowego, zapisywanych z krokiem 0,5 s, pochodzących z sześciu punktów ciągłego pomiaru hałasu, zlokalizowanych w otoczeniu dwóch regionalnych portów lotniczych. Dane te podzielone zostały na 4 zestawy: treningowy, walidacyjny, strojący oraz testowy. Następnie przetworzono je do postaci zbiorów ramek wejściowych, zawierających równą liczbę przykładów oznaczonych jako „zawierający widmo hałasu lotniczego" (klasa pozytywna) oraz „niezawierający widma hałasu lotniczego" (klasa negatywna) o różnych czasach trwania pojedynczej ramki. Po wstępnej analizie zarejestrowanych danych, zbiory treningowy i walidacyjny zostały poddane kolejnym etapom filtracji, w celu pozbawienia ich przykładów mogących negatywnie wpłynąć na proces treningu sieci. Na bazie przygotowanych zbiorów danych dokonano treningu sześciu architektur konwolucyjnych oraz dwóch architektur rekurencyjnych sieci neuronowych. Określono wartość progową, pozwalającą na interpretację odpowiedzi sieci funkcjonującej w ramach stworzonego algorytmu, w efekcie uzyskując rozwiązanie, zdolne do precyzyjnej identyfikacji występowania hałasu lotniczego w analizowanym sygnale. Przeprowadzone testy opracowanego rozwiązania wykazały 97% skuteczność detekcji sygnału hałasu lotniczego.

Rozprawa zawiera w kolejności: analizę istniejącej wiedzy i osiągnięć technicznych w dziedzinie detekcji i klasyfikacji zdarzeń akustycznych związanych z przelotami statków powietrznych, następnie jest przedstawiona identyfikacja problemów, wybór metody badawczej, opis użytych narzędzi badawczych, opis badań zgodnych z przyjętą metodyką, analiza danych oraz weryfikacja tezy i celu rozprawy. Konsekwencją takiego układu pracy jest czytelne przedstawienia charakterystyki zdarzeń akustycznych związanych z przelotami statków powietrznych, zebrania i analizy danych, na ich podstawie - po analizie numerycznej

opracowania autorskiego algorytmu umożliwiającego wyznaczanie początku i końca lotniczego zdarzenia akustycznego jedynie w oparciu o wyznaczone dla poszczególnych ramek podobieństwa do hałasu lotniczego, z dokładnością spełniającą założenia z wymagań normowych i umożliwiających wdrożenie go w rzeczywistych warunkach, tj. w systemach stosowanych na lotniskach.

3. **Ocena rozprawy**

Rozprawa mgra Michała Bukały porusza aktualny i ważny temat detekcji i oceny poziomu hałasu lotniczego powstałego podczas przelotu samolotów.

Autor rozprawy wykazał się dużym zaangażowaniem w studiowaniu dostępnych źródeł literaturowych, co jest widoczne w wysokim poziomie analizy dostępnej wiedzy teoretycznej. Pozwoliło to Doktorantowi na trafną identyfikację problemów monitoringu zdarzeń akustycznych, identyfikację czasową zdarzeń związanych z hałasem emitowanym do środowiska w związku ze startami, lądowaniami i przelotami statków powietrznych oraz na sformułowanie aktualnego tematu rozprawy, tezy i celu pracy badawczej.

Podjął także duże wyzwanie opracowując metodykę badań eksperymentalnych w realnych warunkach środowiskowych, mających na celu weryfikację tezy jak i osiągnięcie założonego celu tj. przydatności badań do podniesienia poziomu monitoringu hałasu emitowanego do środowiska podczas ruchu lotniczego.

Należy podkreślić, że w całej rozprawie jest widoczna konsekwencja w osiąganiu wyznaczonego celu i potwierdzaniu słuszności sformułowanej w pracy tezy.

Według mojej opinii, przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgra Michała Bukały jest oryginalnym i autorskim ujęciem metody automatycznej detekcji i klasyfikacji zdarzeń akustycznych związanych z przelotami statków powietrznych.

Wyniki badań przeprowadzonych przez Doktoranta przy użyciu algorytmu identyfikującego związane z hałasem lotniczym zdarzenia akustyczne (co stanowi niezbędny element wspomnianego monitoringu użytego w realnych warunkach na lotniskach) **potwierdziły, że Cel rozprawy został osiągnięty**. Wykazały one, że za pomocą zaproponowanej metody można rozróżniać cechy charakterystyczne dla jednostek latających różnych typów. Jako parametry identyfikacyjne przyjęto wymiary, rodzaj napędu statku powietrznego (w aspekcie pracy różnych jednostek napędowych w różnych fazach lotu statku powietrznego), mających bezpośredni związek z pracą jednostek napędów głównego i pomocniczych generujących różne ilościowo i jakościowo drgania powodujące hałas.

Potwierdziło to prawdziwość przyjętej w Rozdziale 1. Tezy, że ***„Sygnał akustyczny, poddany 1/3-oktawowej analizie widmowej z małą rozdzielczością czasową, zawiera informacje wystarczające do identyfikacji zdarzeń akustycznych związanych z emisją hałasu lotniczego, z precyzją znacznie przekraczającą aktualne wymagania, w przypadku jego analizy przy zastosowaniu sztucznych sieci neuronowych.***

Za główne osiągnięcie mgra Michała Bukały wynikające z przedstawionej rozprawy doktorskiej uważam:

- dokonanie etykietowania blisko 9 000 godzin sygnału akustycznego w formie próbek widma 1/3-oktawowego, zapisywanych z krokiem 0,5 s, pochodzących z sześciu punktów ciągłego pomiaru hałasu, zlokalizowanych w otoczeniu dwóch regionalnych portów lotniczych,
– podział otrzymanych podczas badań danych na 4 zestawy: treningowy, walidacyjny, strojący oraz testowy,
- przetworzenie danych do postaci zbiorów ramek wejściowych, zawierających równą liczbę przykładów oznaczonych jako „zawierający widmo hałasu lotniczego" (klasa pozytywna) oraz „niezawierający widma hałasu lotniczego" (klasa negatywna) o różnych czasach trwania pojedynczej ramki,
- dokonanie treningu sześciu architektur konwolucyjnych oraz dwóch architektur rekurencyjnych sieci neuronowych, określenie wartości progowej, pozwalającej na interpretację odpowiedzi sieci funkcjonującej w ramach stworzonego algorytmu,
- uzyskanie modelu, zdolnego do precyzyjnej identyfikacji występowania hałasu lotniczego w analizowanym sygnale z potwierdzoną testami 97% skutecznością detekcji sygnału hałasu lotniczego,
- opracowanie autorskiego algorytmu umożliwiającego wyznaczanie początku i końca lotniczego zdarzenia akustycznego spełniającego założenia z wymagań normowych,
- wdrożenie opracowanego modelu w systemie firmy SVANTEK, będącego istniejącym rozwiązaniem pracującym na polskich lotniskach.

Opracowany model może być w prosty sposób aplikowany w istniejących, realnych systemach i w znaczący sposób przyczynić się do poprawy identyfikacji zdarzeń akustycznych związanych zarówno w ruchem lotniczym jak i może być implementowany do systemów o charakterze przemysłowym lub militarnym.

Podsumowując uważam, że zarówno struktura rozprawy, użyty język, metodyka opracowania dostępnego materiału teoretycznego jak i doświadczalnego, a także metodyka przedstawionych badań są zgodne ze standardami wymaganymi od rozpraw doktorskich.

Autor szczegółowo i przejrzyście opisał przeprowadzone badania, których metodykę i obliczenia krok po kroku przedstawił w *Dodatkach* a wyniki zwizualizował w sposób przyjazny dla potencjalnego użytkownika.

Równocześnie należy stwierdzić, że mgr Michał Bukała wykazał się bardzo dobrą wiedzą teoretyczną w reprezentowanej dyscyplinie nauki, umiejętnością analitycznego i logicznego podejścia do rozpatrywanego problemu, bardzo dobrą znajomością przedstawionego w rozprawie przedmiotu badań, oraz biegłym opanowaniem metod eksperymentalnych stosowanych w Dyscyplinie Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport . Powyższe fakty świadczą o należytym przygotowaniu mgra Michała Bukały do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

4. **Pytania szczegółowe i uwagi krytyczne**

Podkreślając, że uważam, iż rozprawa jest merytorycznie poprawna i napisana starannie, to w trakcie analizy treści pracy odniosłem wrażenie, że istnieją pewne skróty myślowe, których rozwinięcie może być dopełnieniem toku myślenia Autora, więc wydaje się zasadnym zadać kilka doprecyzowujących pytań. Odpowiedzi na zadane poniżej pytania oczekuję podczas publicznej obrony:

1. Wydają się niejasnym i wymagającym doprecyzowania zagadnienie niepewności pomiaru ciągłego podczas eksperymentu oraz błędu algorytmów uczących.
2. Przeprowadzone testy wykazały 97% skuteczności detekcji sygnału akustycznego. Jakiego rodzaju „nieskuteczności" znajduje się w 3% i jak wpływa to na szacowanie np. zasięgu hałasu (obszaru oddziaływania).

Jak wyżej wskazywałem, rozprawa jest napisana poprawnie pod względem merytorycznym i edytorskim, jednak występują w jej tekście pewne sformułowania lub drobne niedociągnięcia, które należy poprawić, m.in.:

1) Brak wykazu stosowanych oznaczeń.
2) Stosowanie różnych oznaczeń do opisu tych samych parametrów, np. częstotliwość na stronie 2 oznaczana jest v, a na stronie 3 przez f, czy też na stronie 3 T jest temperaturą a na stronie 18 czasem odniesienia.
3) Drobne bardzo nieliczne literówki, np. strona 33 jest *zidentyfikowane pewnych wzorców,* powinno być *zidentyfikowanie*, czy na stronie 108 jest *zaobserwowane w eksperymencie*, a powinno być *zaobserwowanymi.*

6. Podsumowanie

Drobne uwagi krytyczne i przedstawione pytania nie zmniejszają merytorycznej wartości naukowej i utylitarnej recenzowanej rozprawy.

W mojej opinii rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie mgra Michała Bukały zagadnienia naukowego, sformułowanego przez Niego w tezie badawczej, a opisanej przeze mnie w charakterystyce rozprawy.

Uważam, że wartość naukowa jak i utylitarna podjętej problematyki, wysoki poziom trudności oraz stopień realizacji celu uzasadniają stwierdzenie, że rozprawa stanowi oryginalne podejście do problematyki *automatycznej detekcji i klasyfikacji zdarzeń akustycznych związanych z przelotami statków powietrznych*. Praca mieści się w obszarze badań właściwym dla Dyscypliny Naukowej Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport.

Podsumowując stwierdzam, że rozprawa mgra Michała Bukały pt. „*System automatycznej detekcji i klasyfikacji zdarzeń akustycznych związanych z przelotami statków powietrznych*", spełnia wymogi określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce" (Dz. U. z 2021 Nr 65 poz.478, z późn. Zm) w sprawie kryteriów oceny osiągnięć osoby ubiegającej się o nadanie stopnia doktora oraz mieści się w Dyscyplinie Naukowej Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport.

W związku z tym wnoszę o przyjęcie rozprawy doktorskiej mgra Michała Bukały na stopień doktora nauk technicznych w Dyscyplinie Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Ponieważ przedstawiona rozprawa **wyraźnie wykracza poza typowy poziom** przyjęty dla rozpraw doktorskich w Dyscyplinie Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport, **wnioskuję o jej wyróżnienie.**

Recenzję podpisał
Zbigniew Łosiewicz