

Dr hab. inż. Jarosław Korzeb, prof. PW  
Politechnika Warszawska, Wydział Transportu  
Zakład Budowy i Eksploatacji Środków Transportu  
ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa  
e-mail: jaroslaw.korzeb@pw.edu.pl

Warszawa, 4 grudnia 2024 r.

*Recenzje spełnia  
wymogi formalne*

**RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ  
autorstwa mgr. Michała Bukaty**

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

**Promotor rozprawy:** dr hab. inż. Artur Nowoświat, prof. PŚ  
**Opiekun:** dr inż. Andrzej Chyla  
**Dziedzina nauki:** Nauki Inżynieryjno-Techniczne  
**Dyscyplina naukowa:** Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport

**I. Podstawy opracowania recenzji**

Podstawy formalne opracowania recenzji:

- zlecenie Pana Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport, dr hab. inż. Piotra Folegi, prof. PŚ (pismo nr RDILGT.512.10.2024, z dnia 30.10.2024) i umowa nr UMC/4097/2024 do wniosku 3557/UMC/RBO-3/2024;
- uchwała Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport z dnia 10.10.2024;
- egzemplarz rozprawy doktorskiej mgr. Michała Bukaty w wersji papierowej oraz elektronicznej.

Uwzględnione podstawy prawne podczas opracowania recenzji rozprawy doktorskiej:

- Ustawa z dnia z dnia 20.07.2018 r. – „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (Dz.U. z 2024 r., poz. 1571 z późn. zm.),
- Rozporządzenia Ministra Edukacji i Nauki z dnia 11.10.2022 r. w sprawie dziedzin nauki i dyscyplin naukowych oraz dyscyplin artystycznych (Dz.U. 2022 poz. 2202).

Podczas sporządzania recenzji szczególną uwagę zwrócono na ocenę poziomu merytorycznego zapisanych treści pracy. Przeanalizowano układ rozprawy, poprawność używanej terminologii i trafność merytoryczną objętego kierunku prac. Ważną podstawą sporządzonej konkluzji była ocena dysertabilności podjętej w rozprawie tematyki, ale zwrócono uwagę na poprawność doboru źródeł bibliograficznych i zastosowanych cytowań, czytelność i poziom techniczny stosowanego w pracy języka oraz poprawność zamieszczonych w pracy zapisów, jak i konsekwencję stosowania międzynarodowego układu jednostek i miar SI.

POLITECHNIKA ŚLĄSKA  
Rada Dyscypliny Inżynieria Lądowa,  
Geodezja i Transport  
wpłynęło dnia 18.12.2024  
nr 289 zai. —

## II. Ogólny układ rozprawy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska liczy 151 stron dokumentu, na które składają się: strony tytułowe i podziękowania (3 strony), streszczenie (2 strony), spis treści (2 strony), osiem rozdziałów autorskich (122 strony), podsumowanie i wnioski (2 strony), bibliografia (7 stron) spisy (5 stron) oraz dodatki (8 stron).

Odpowiednie zestawienia liczbowe charakteryzujące przedstawiony do recenzji materiał z podziałem na rozdziały zamieszczono w poniższej tabeli.

Rozdział	Liczba			
	rysunków	tabel	równań	stron
Str. tytułowa				3
Streszczenie				2
Spis treści				2
1. Wprowadzenie	1		6	7
2. Wybrane zagadnienia ak...	10		8	14
3. Sztuczne sieci neuronowe	6		12	12
4. Badania terenowe	27	12	6	34
5. Koncepcja systemu det...	8	1	2	13
6. Badanie możliwości konw.	20	8	1	26
7. Badanie możliwości zast...	10	5	1	14
8. Zastosowania w syst. p...	2			2
9. Podsumowanie				2
Bibliografia				7
Spisy rysunków i tabel				5
Dodatki	6	1		8
<b>Razem</b>	<b>90</b>	<b>27</b>	<b>36</b>	<b>151</b>

W spisie literatury ujęto 89 pozycji wydawniczych oraz raportów instrukcji, wytycznych, norm i rozporządzeń oraz danych pozyskanych ze źródeł internetowych.

Treść pracy obejmuje ponadto bogaty materiał ilustracyjny, na który składa się licząc załączniki aż 90 rysunków i fotografii oraz 27 tabel.

### II.1. Tematyka i zakres rozprawy

Automatyczna detekcja i klasyfikacja zdarzeń akustycznych to jedno z kluczowych zagadnień w dziedzinie analizy dźwięku pochodzącego od środków transportu. W kontekście przelotów statków powietrznych problem jest szczególnie istotny ze względu na oddziaływania środowiskowe, a zwłaszcza lokowanie tego typu hałasu jako jednego z największych stresorów akustycznych w obszarach zurbanizowanych. Z punktu widzenia wpływu na zdrowie – przewlekła ekspozycja na hałas lotniczy może prowadzić do problemów zdrowotnych, takich jak zaburzenia snu czy zaburzenia sercowo-naczyniowe, stąd konieczna

jest permanentna kontrola i monitoring poziomów zdarzeń akustycznych powodowanych tymi środkami transportu. Wyzwania związane z automatyczną detekcją i klasyfikacją zdarzeń akustycznych wynikają z różnych czynników, takich jak złożoność występujących sygnałów, zmienność warunków akustycznych oraz obecność zakłóceń i szumów oraz poziom tła akustycznego.

Kluczowe aspekty problemu automatycznej detekcji obejmują charakterystykę dźwięków generowanych przez statki powietrzne, z uwzględnieniem dominujących pasm częstotliwości, zmienności amplitudy i częstotliwości w czasie, obecności częstotliwości harmonicznych i zjawisk fizycznych polegających na nakładaniu się fal akustycznych, interferencji i odbić, zakłóceń, czy zmienności tła akustycznego. Nie bez znaczenia pozostają dźwięki generowane przez ruch drogowy, przemysł, przyrodę, a zmienne warunki atmosferyczne (np. deszcz, śnieg, wiatr, zmiany wilgotności, czy temperatury) przekładają się na dodatkowe trudności w automatyzacji pomiarów i identyfikacji zdarzeń.

Budowa układu pomiarowo-detekcyjnego to również ważne wyzwanie techniczne. Należy prawidłowo określić poligon doświadczalny, dobrać optymalne punkty pomiarowe oraz mikrofony, ponieważ rozmieszczenie przetworników akustycznych i ich charakterystyki kierunkowe wpływają na jakość rejestrowanych sygnałów. Dalsza detekcja właściwych zdarzeń akustycznych wymaga dokonywania ciągłej rejestracji hałasu, która będzie podlegała analizie w korelacji do wykazu prowadzonych operacji lotniczych. Niestacjonarny charakter przedmiotowych zdarzeń akustycznych jest dość łatwo identyfikowalny pod względem sposobu przyrostów ciśnienia akustycznego do wartości maksymalnej w danym zdarzeniu i podobnego charakteru wygaszania przebiegu zdarzenia, ale nie zmienia to konieczności przeprowadzenia pełnej procedury identyfikacyjnej, wzbogaconej o właściwą analizę poziomów i dalszą klasyfikację zjawiska akustycznego. Należy nadmienić, że istniejące systemy oparte o korelację historii czasowej poziomu dźwięku i cechy charakterystyczne widma częstotliwościowego pozwalają na identyfikację na poziomach przekraczających 95% dla wybranych napędów stosowanych w statkach powietrznych.

Podejścia do rozwiązania problemu identyfikacji zdarzeń akustycznych wykorzystują metody oparte na zapisach historycznie osiągniętych poziomach, analizę poziomu dźwięku w pasmach częstotliwości, metody uczenia maszynowego, w tym modele klasyfikacyjne, takie jak drzewa decyzyjne, SVM w wykrywaniu anomalii, czy sieci neuronowe, z wykorzystaniem technologii uczenia maszynowego i uczenia głębokiego, np. sieci konwolucyjne CNN i długie sieci pamięci krótkoterminowej LSTM, które wykorzystywane mogą być w analizie spektrogramów lub surowych danych audio, czy też modele hybrydowe.

Z punktu widzenia analitycznego sama ekstrakcja cech, takich jak pasma częstotliwości, energia akustyczna, czas trwania zdarzenia, klasyfikacja sygnałów na podstawie wzorców dopasowanych do charakterystyki akustycznej typowych statków powietrznych, wymagają zaawansowanych algorytmów przetwarzania dźwięku i wykorzystania zaawansowanego aparatu matematycznego zaszytego w kod aplikacji.

Monitorowanie hałasu lotniczego jest nieodzownym elementem współczesności, w celu oceny jego wpływu na jakość życia mieszkańców narażonych na liczne oddziaływania cywilizacyjne, które analizowane w aspekcie jednoczesności ich występowania, przekładają się

na zmniejszoną tolerancję bodźców i wprowadzają niepokój. Badania nad wpływem hałasu lotniczego na środowisko i zdrowie człowieka to interdyscyplinarny obszar nauki obejmujący nie tylko akustykę, ale i medycynę, ekologię, czy urbanistykę. Rosnący ruch lotniczy, przy jednoczesnym występowaniu jego skutków zdrowotnych dla ludzi, zapewnienie dobrostanu przyrody, czy prawidłowego funkcjonowania ekosystemów, jest trudnym wyzwaniem, w które z powodzeniem wpisuje się praca Pana mgr. Michała Bukały.

Wsparcie zarządzania ruchem lotniczym przez integrację danych akustycznych z systemami monitorowania, detekcji i klasyfikacji zdarzeń akustycznych związanych z przelotami statków powietrznych to złożony problem wymagający zaawansowanych technik przetwarzania dźwięku oraz uczenia maszynowego, którego podjął się Autor rozprawy.

Bardzo cennym elementem recenzowanej rozprawy jest przygotowanie metodologii badań oraz przygotowanie bazy danych treningowych z lat 2022-2023 z tercją analizą widmową, z wykorzystaniem technik uczenia głębokiego. Opracowanie architektury konwolucyjnej sieci neuronowej, zdolnej do efektywnej ekstrakcji kluczowych cech sygnału, dla narzuconej reprezentacji sygnału wejściowego i określenie sposobu interpretacji wskaźników opracowanego modelu, jest ewidentnym osiągnięciem poznawczym i użytecznym. Potwierdzona skuteczność identyfikacji zdarzeń akustycznych na poziomie 97% nie pozostawia wątpliwości co do możliwości wykorzystania opracowanej metodyki postępowania.

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska opiera się w pokaźnej mierze na wiedzy teoretycznej i osiągnięciach w wymiarze praktycznym, popartych przeprowadzeniem eksperymentu badawczego potwierdzającego walory aplikacyjne zaprezentowanej metody.

---

## **II.2. Charakterystyka rozprawy**

---

### ***Ogólna charakterystyka rozprawy***

Rozprawa liczy 151 stron. Na jej treść składają się: strony formalne, streszczenia, osiem rozdziałów autorskich, podsumowanie, spis bibliografii, ilustracji i tabel oraz dodatki. Autor w sposób nie budzący zastrzeżeń ułożył kolejność rozdziałów, w których zlokalizował teoretycznie podjęty temat, zidentyfikował ważny problem badawczy, przedstawił metodologię prowadzenia badań eksperymentalnych i koncepcję systemu detekcji, zbadał możliwości konwolucyjnych sieci neuronowych w zakresie klasyfikacji hałasu lotniczego i możliwość zastosowania sieci w systemie detekcji, przeanalizował otrzymane wyniki przeprowadzonego eksperymentu badawczego oraz przedyskutował zastosowanie w systemach pomiarowych, zamykając pracę zbyt krótkim w mojej opinii podsumowaniem.

Lista wykorzystanych pozycji bibliograficznych liczy łącznie 89 pozycji, na które składają się 61 pozycji literatury naukowej w postaci monografii i artykułów popularno-naukowych, 6 konwencji, procedur i wytycznych, 8 norm, 4 ustaw i rozporządzeń, 2 przepisów, 2 instrukcji oraz 6 źródłowych stron internetowych z podaniem dat dostępu. Analiza tytułów

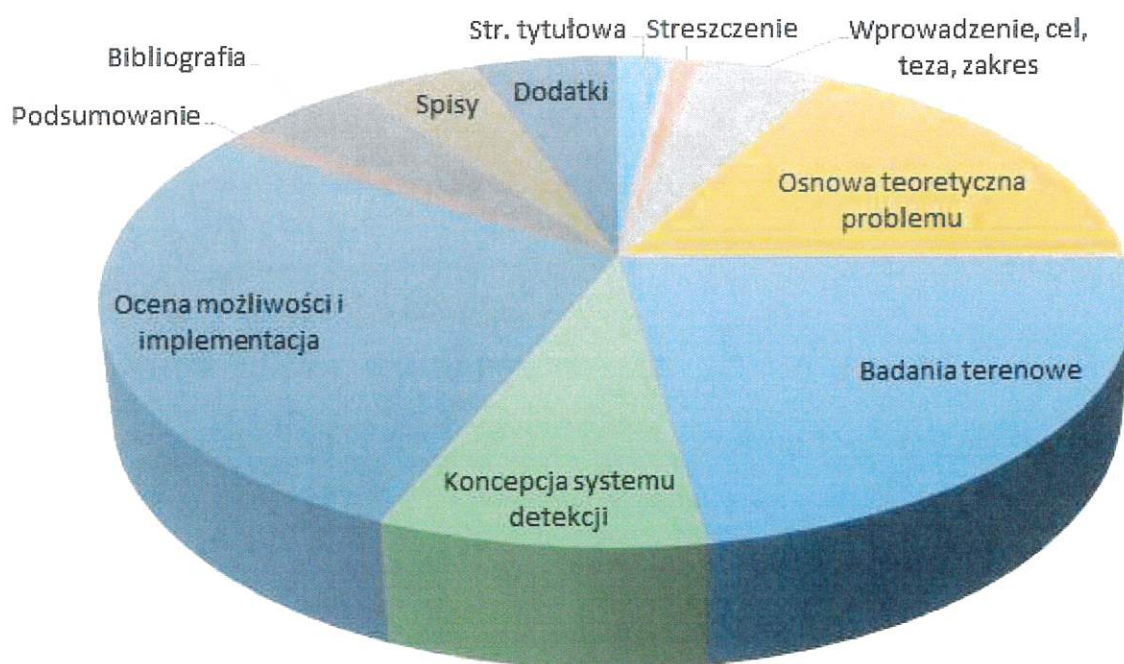
zamieszczonych pozycji literatury naukowej wykazuje kilka braków, ale generalnie sam dobór źródeł bibliograficznych nie budzi większych zastrzeżeń.

W treści rozprawy zamieszczono aż 90 rysunków i 27 tabel oraz 36 równań, do których znalazły się prawidłowe odwołania w treści pracy. W dodatku uwzględniono szczegółowe wizualizacje architektury sieci oraz szczegółowy opis implementacji systemu detekcji wraz z zacytowaniem skryptu w języku Python.

Rozprawa napisana jest poprawnym językiem technicznym, z uwzględnieniem właściwych pojęć i terminów oraz konsekwentnie stosowane są w niej jednostki układu SI i ich krotności.

### **Ocena struktury podziału treści rozprawy**

Autor rozprawy dokonał prawidłowej alokacji materiału w pracy, a rozkład proporcji istotnych elementów przedłożonego materiału pokazano na rysunku.



Taki podział treści pracy zasadniczo nie budzi zastrzeżeń i świadczy o przemyślanym podejściu do rozwiązania postawionego problemu badawczego.

Rozdziały 1÷2 posłużyły Autorowi osadzeniu czytelnika w temacie i realiach zagadnień związanych z hałasem lotniczym oraz wybranymi pojęciami związanymi z tematyką hałasu. Przytoczone podstawy zostały dość skrupulatnie wybrane, aby nie obciążać czytelnika wiedzą teoretyczną w zagadnieniach hałasu. Autor pominął w nich wiele powiązanych z tematyką pojęć, a niektóre z przytoczonych parametrów potraktowano ogólnikowo. Odbierać to można jako zabieg celowy, aby wyeksponować część pracy, w której Autor porusza się bardzo dobrze, czyli – sieci neuronowe, na których również osadzono główną wagę ocenianej pracy. W podrozdziale 1.1 przedstawiono cel i tezę pracy i zakres rozprawy.

Jako główny cel pracy postawiono „wprowadzenie możliwości automatycznej detekcji i klasyfikacji zdarzeń akustycznych związanych z przelotami statków powietrznych w systemach ciągłego monitoringu hałasu wokół lotnisk”, co zakłada od początku stricte wdrożeniowy efekt prowadzonych prac. Pan mgr Michał Bukała sformułował zacytowaną niżej tezę rozprawy:

„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 mojej opinii teza pracy została udowodniona.

Rozdział 3 to wprowadzenie czytelnika do tematyki sztucznych sieci neuronowych, z podaniem założeń, skróconych opisów konwolucyjnych i rekurencyjnych sieci neuronowych. Autor przedstawił ocenę skuteczności i jakości modelu oraz uzasadnił wybór przyjętej metodyki postępowania.

W materiale rozdziału 4 przedstawiono przeprowadzone badania terenowe. Podano przebieg procesu ich realizacji, przedstawiono charakterystyki badanych wraz z uzasadnieniem wyboru lotnisk, tj. Portu Lotniczego im. Lecha Wałęsy w Gdańsku i Międzynarodowego Portu Lotniczego im. Wojciecha Korfanteo w Pyrzowicach, oraz opisano wykorzystaną aparaturę pomiarową. Rozdział ten stanowi bardzo cenny element pracy. Autor przyjął identyfikację różnic w 1/3-oktawowym widmie hałasu lotniczego oraz dla tła akustycznego, celem odróżnienia ich charakterystyk. W pracy przedstawiono również 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.

Rozdział 5 to autorska koncepcja systemu detekcji. Autor poddał analizie różne podejścia stosowane w identyfikacji, a swoją metodę oparł na wyodrębnieniu zdarzeń akustycznych generowanych podczas przelotu statków powietrznych, opierając się na wyznaczeniu czasu rozpoczęcia i zakończenia zdarzenia akustycznego z wykorzystaniem wskaźnika identyfikacji hałasu lotniczego. Podejście wykorzystujące stacje permanentnego monitoringu hałasu, które rejestrują parametry akustyczne w próbkach i analizują za pomocą konwolucyjnych (CNN) lub rekurencyjnych sieci neuronowych, operujących na widmach 1/3-oktawowych, jest słusznym postępowaniem z punktu widzenia pozyskiwania i analizy danych. Autor porównał klasyczną metodę detekcji z podejściem opartym na sieciach neuronowych, szczegółowo analizując ich zalety i ograniczenia. Poddano analizie metodę Wieloprogową i CNN, które zostały ocenione pod kątem ich skuteczności, co doprowadziło do stworzenia własnego, uproszczonego modelu. W ramach pracy opracowano aplikację umożliwiającą wizualizację danych akustycznych, wykrywanie zdarzeń akustycznych oraz ich eksport. Decyzja o uproszczeniu modelu była częściowo uwarunkowana zewnętrznymi czynnikami, w tym pandemią COVID-19, która mogła przełożyć się na zbyt małą ilość pozyskanych danych na skutek ograniczeń w ruchu lotniczym.

Rozdziały 6 i 7 są obszerne i odpowiadają za możliwości konwolucyjnych sieci neuronowych w zakresie klasyfikacji hałasu lotniczego oraz badanie możliwości zastosowania

sieci neuronowych w systemie detekcji zdarzeń akustycznych. Są to najważniejsze rozdziały z punktu widzenia uzasadnienia zastosowanych rozwiązań matematycznych. Autor konsekwentnie i metodycznie przedstawił problemy występujące przy układaniu środowiska testowego. Zwrócił uwagę na przygotowanie zbiorów danych treningowych i walidacyjnych oraz wyodrębnił problemy błędów w etykietowaniu danych na tle innych zdarzeń, zidentyfikowanych zakłóceń, czy interpretacji nietypowych zdarzeń. Pokazał modele konwolucyjnych sieci neuronowych i przeprowadzone dla nich eksperymenty z uwzględnieniem metoda oceny jakości predykcji, wynikami i komentarzami. Rozdział 7 opisuje metodę przygotowania zbiorów danych strojących i testowych, eksperymentalne badania procesu klasyfikacji dla sieci CNN, z etapami treningu, strojenia i testów oraz badanie możliwości zastosowania sieci rekurencyjnych.

Ważnym elementem rozprawy jest rozdział 8. Wyniki badań Autora zostały wdrożone w dwóch systemach firmy SVANTEK. Pierwszym z nich jest oprogramowanie SMHL do identyfikacji i korelacji hałasu lotniczego na pięciu polskich lotniskach (stosowane w Laboratorium Badawczym), wykorzystujące bazy MS SQL, z zasady oznaczając automatycznie rekordy klasyfikowane jako zapisy sygnały hałasu lotniczego (co przyspiesza proces manualnej analizy). Testy potwierdziły poprawę zarówno szybkości, jak i dokładności korelacji zdarzeń akustycznych. Drugim systemem jest platforma SvanNET, dostępna dla klientów firmy. Zastosowanie autorskiego algorytmu umożliwia wskazywanie na wykresach czasowych fragmentów sygnału zdominowanych przez hałas lotniczy oraz obliczanie wskaźników akustycznych, takich jak poziom ekspozycji dźwięku (LAE). System analizuje przekroczenia ustalonych limitów, obsługuje alarmy z informowaniem portów lotniczych o nadmiernym hałasie, wpływając ponadto na poprawę bezpieczeństwa lotów.

Rozprawę zamyka podsumowanie (Rozdział 9). Autor wskazał w podsumowaniu osiągnięcie zamierzonego celu, czyli opracowanie, przetestowanie i wdrożenie skutecznego algorytmu identyfikującego lotnicze zdarzenia akustyczne, co stanowi niezbędny element wspomnianego monitoringu hałasu emitowanego do środowiska w związku ze startami, lądowaniami i przelotami statków powietrznych. Potwierdzono tu również udowodnienie postawionej tezy badawczej. Autor podkreślił rozmiar przeprowadzonych prac, wspominając o etykietowaniu 9 tys. godzin sygnału akustycznego w pasmach tercjowych i rejestracją widma z częstotliwością 2 Hz. Wspomniał, że dane zostały podzielone na cztery zestawy (treningowy, walidacyjny, strojący i testowy) i przetworzone na zbiory ramek zawierających przykłady pozytywne (widmo hałasu lotniczego) i negatywne, którymi po filtracji danych treningowych i walidacyjnych, dokonano treningu sześciu konwolucyjnych i dwóch rekurencyjnych architektur sieci neuronowych. Określono wartość progową umożliwiającą interpretację wyników sieci, uzyskując algorytm zdolny do precyzyjnej detekcji hałasu lotniczego z 97% skutecznością. Opracowany przez Autora algorytm pozwala na wyznaczanie początku i końca zdarzeń akustycznych, spełniając wymogi normowe i może być rozszerzony o klasyfikację innych źródeł hałasu, takich jak hałas kolejowy czy drogowy. Dzięki prostocie implementacji, metoda może znaleźć zastosowanie w monitoringu hałasu lotniczego, usprawniając zarządzanie emisjami akustycznymi na polskich lotniskach.

### III. Ocena rozprawy

---

Rozprawa doktorska Pana mgr. Michała Bukafy ma czytelny układ. Autor prawidłowo rozpoznał istniejący problem badawczy i osadził go w rozważaniach teoretycznych. Analiza źródeł literaturowych nie przytłacza zbyt dużą liczbą, ale można przyjąć że jest wystarczająca. Należy zwrócić uwagę na fakt, że w spisie literatury wymieniono tylko 2 współautorskie i 1 autorską pracę Autora. Treść pracy można uznać za rozlokowaną poprawnie i proporcjonalnie do przewidywanej wagi. Autor zidentyfikował dysertabilny obszar badawczy, nawiązujący do współczesnych problemów, bardzo ważny z punktu widzenia jakości życia mieszkańców terenów przylotniskowych, dla którego zaproponował rozwiązanie matematyczne oparte o wykorzystanie sieci neuronowych i metod głębokiego uczenia. W tym celu Autor przeanalizował problem, dokonał wyboru poligonu badawczego i aparatury do akwizycji danych, przeprowadził dobór mierzonych parametrów, opracował metodę analizy wyników i dokonał implementacji w środowisku Python. Sposób przeprowadzenia wymienionych analiz należy uznać za prawidłowy.

Autor rozprawy wskazuje implementację opracowanego rozwiązania pisząc, że „stworzone w efekcie opisanych wyżej badań rozwiązanie zostało wdrożone w dwóch, należących do firmy SVANTEK, systemach”.

Pan Michał Bukafa wykorzystał dostępne narzędzia programistyczne w celu implementacji metody identyfikacji zdarzeń z wykorzystaniem programu SMHL oraz wdrażając badany algorytm na platformie SvanNET dla klientów firmy SVANTEK. W mojej opinii dobrał poprawnie dostępny sprzęt, opracował metodę opartą o istniejące algorytmy uwzględniając aparat matematyczny dla etapów identyfikacji, wybrał poligon badań doświadczalnych i je przeprowadził. Później dokonał analizy otrzymanych wyników oraz ich interpretacji, a po osiągnięciu wystarczających efektów, przeprowadził implementację. Całokształt przedstawionych w pracy treści sprawia wrażenie kompletności przedstawionego rozwiązania.

Zaproponowana metoda badawcza ma bardzo duży dalszy potencjał aplikacyjny oraz jest bardzo rozwojowa, o czym Autor nie wspomniał zbyt w treści podsumowania. Wysoko oceniam uzyskane efekty poznawcze i bardzo wysoko stawiam użyteczną wartość przedstawionej do recenzji dysertacji.

---

#### III.1. Uwagi ogólne

---

Praca ma charakter wdrożeniowy, stąd też główny nacisk jej części opisowej Autor poświęcił na informacje praktyczne i z przeznaczeniem do zastosowania w praktyce, wskazując ponadto inne możliwości prostej implementacji w istniejących systemach i zastosowanie w monitoringu hałasu lotniczego. Praca napisana jest językiem technicznym, z dużą dbałością o szczegóły edycyjne, niemniej jednak nasuwa się kilka niżej przedstawionych uwag.

- 1) Niestety nie zamieszczono wniosków z podziałem na podrozdziały zawierające część poznawczą, użyteczną i kierunki dalszych prac. Taki podział, z przejrzystym wypukleniem tych treści, przy tak istotnym znaczeniu pracy byłby pożądanym, w przeciwnym przypadku kierunków dalszych prac należy doszukiwać się indywidualnie w treści podsumowania dotyczącej algorytmu, czy w rozdziale dotyczącym implementacji (na stronie 128).
- 2) Przy tak dużej liczbie równań (36) w mojej opinii wypadałoby zamieścić ujednoczony spis oznaczeń i skrótów stosowanych w pracy, ponieważ pojawiają się różne oznaczenia tych

samych wielkości fizycznych na różnych stronach, co niepotrzebnie wprowadza element dezorientacji.

- 3) Autor nie ustosunkował się jawnie do niepewności pomiarowej. W mojej opinii rozdział 4 (Badania terenowe) powinien zawierać dyskusję problemu niepewności w odniesieniu do czynników sprzętowych, środowiskowych, metodyki pomiarowej i samego procesu modelowania. Bardzo proszę o komentarz podczas publicznej obrony.
- 4) Na stronie 88 Autor wskazał wybór zestawu „wstępnie przyjętych jako najbardziej istotne hiperparametrów, na które składały się: długość ramki w dziedzinie czasu, poziom filtracji danych oraz architektura sieci” nie podając w dalszej części tego rozdziału kryterium tego wyboru oraz czy został wybór zachowany, skoro był „wstępny”. Proszę o stosowny komentarz.
- 5) Na stronie 129 Autor pisze, że „takie bieżące alarmowanie pozwala na podejmowanie efektywnych działań, mających na celu takie wpłynięcie na przewoźników i operatorów, aby eliminować tego typu sytuacje”. Czy mamy praktyczne (dla 2 analizowanych lotnisk) potwierdzenie podejmowania takich działań i zabiegów eliminujących takie sytuacje na przyszłość.
- 6) Autor podsumowuje działania własne pisząc, że „przeprowadzone testy opracowanego rozwiązania wykazały 97% skuteczność detekcji sygnału hałasu lotniczego”, ale w Rozdziale 2 pisze też o pracach zespołu Rosin i Barbo z dziedziny rozpoznawania zdarzeń w oparciu o przetwarzanie sygnału audio na zasadzie rozpoznawania wzorców ze skutecznością 97,7%, pracach zespołu Asensio, Ruiz i Recuero opartych o jednoklasową detekcję przy zastosowaniu logiki rozmytej ze skutecznością 93% oraz zespołu Wszółek i Kłaczyński opartych o porównanie różnych metod identyfikacji i wskazanie sieci neuronowych jako dających skuteczność na poziomie 95%-97%. Proszę o komentarz podczas obrony – jak plasuje się niniejsza rozprawa na tle cytowanych prac, skoro uzyskano podobną skuteczność. Proszę o podkreślenie najważniejszych ale istotnych różnic.
- 7) Na stronie 131 Autor pisze o możliwości klasyfikacji większej liczby źródeł hałasu, np. „zdarzenia związane z przejazdami składów kolejowych, a potencjalnie także źródeł hałasu nie powodujących powstawania możliwych do wyodrębnienia zdarzeń akustycznych, takich jak hałas drogowy”. Tu widzę duże pole do przyszłej współpracy, do której zapraszam, ze względu na fakt, iż w świetle moich doświadczeń nie sam przejazd składu kolejowego, czy ruch uliczny stanowi problem do zidentyfikowania, lecz cechy szczególne rzadko występujących zjawisk towarzyszących tym środkom transportu.

---

## III.2. Uwagi szczegółowe

---

Poniżej przedstawiono listę uwag szczegółowych.

- 1) Literówki i błędy edycyjne: s. 22 ([68, 73, 76])-niepotrzebne nawiasy, s.88 jest „klasyfikacji”, s.33 „zidentyfikowane”, s. 72 „cisnienia”, „Częstotliwość”.
- 2) Zastosowana forma: s.88 „istotne”, s.108 „zaobserwowane”.
- 3) Czytelność rysunków budzi pewne zastrzeżenia, np: 2.8, 4.27.
- 4) Przydałyby się skale na rysunku 6.6 i komentarz w treści poniżej z objaśnieniem na czym polega istotny wpływ i brak wpływu zakłócenia.

- 5) Usunąłbym „filtry 1/3-oktawowe” z tytułu rozdziału 2.1.4 lub poszerzył nieco treść tego podrozdziału. Autor wskazał wyraźnie w tytule 1 typ filtrów, bez poświęcenia im większej uwagi w treści (zamieszczono jedynie 1 wykres bez komentarza), jednocześnie pisząc w tym podrozdziale również o filtrach oktawowych, a przydałyby się istotne sprawy z punktu widzenia ekstrakcji danych, np. wskazania nachylenia zbocza, rzędu filtrów stosowanych w przyrządach (domyślam się, że są to zapewne filtry 6 rzędu, eliptyczne Cauera lub Butterwortha).
- 6) Zapisane pozycje literatury posiadają wiele braków w znakach interpunkcyjnych, licznie przed tytułami publikacji i na końcach pozycji bibliograficznych.
- 7) Przydałoby się w przeglądzie bibliografii, a tym samym w podkreśleniu obszaru tematyki pracy, dodatkowe pozycje literaturowe, na podstawie których można było rozszerzyć zakres rozdziału 2. Wybrane zagadnienia akustyki w lotnictwie. Przykłady:
  - a. Ozimek E.: Dźwięk i jego percepcja. Aspekty fizyczne i psychoakustyczne. PWN, 2018.
  - b. Rozprawy doktorskie i liczne prace realizowane w Politechnice Poznańskiej, dotyczące metod oceny aktywności wibroakustycznej pojazdów, identyfikacji zjawisk akustycznych w przestrzeni miejskiej oraz prace nad sygnaturami akustycznymi zjawisk w transporcie.

Przedstawione uwagi nie obniżają wartości merytorycznej rozprawy Pana mgr. Michała Bukały. Rozprawę oceniam wysoko, została przygotowana z wysoką dbałością o szczegóły i starannością. Treść rozprawy przedstawia oryginalne rozwiązanie problemu badawczego, z wykorzystaniem współcześnie nowej - również w tym obszarze metody badawczej, a podjęte zagadnienie zostało rozwiązane w mojej opinii w sposób adekwatny do obecnego stanu wiedzy.

---

#### IV. Osiągnięcia pracy

---

Oceniana rozprawa posiada walory poznawcze i użytkowe, a jej tematyka jest dysertabilna. Posiada wysoki związek z problemem poznawczym wpływającym na usprawnienie działań prewencyjnych, przy jednoczesnej automatyzacji wspomagającej działalność człowieka. Autor pracy posiada umiejętność samodzielnego prowadzenia badań naukowych, a w celu rozwiązania zidentyfikowanego problemu i opisanie zjawisk towarzyszących zastosował właściwy zakres metod.

Do zrealizowania założonego celu pracy i udowodnienia postawionej tezy Autor rozprawy opracował następujące zadania szczegółowe:

- a) przeprowadził analizę aktualnej wiedzy technicznej i dostępnej literatury,
- b) dokonał wyboru właściwego i reprezentatywnego poligonu badawczego,
- c) zaprojektował i przeprowadził eksperyment badawczy na wybranym poligonie badawczym, dobierając adekwatne przyrządy i metody pomiarowe,
- d) przeprowadził badania terenowe, umożliwiające zarejestrowanie wystarczającej do analiz ilości danych akustycznych i danych towarzyszących,
- e) utworzył oraz zweryfikował i poddał etykietowaniu zarejestrowane zbiory danych,
- f) opracował koncepcję algorytmu detekcji zdarzeń akustycznych,
- g) zrealizował koncepcję i przeprowadził testowanie opracowanej metody,

h) wdrożył metodę – realizując 2 implementacje praktyczne.

Autor potwierdził tym samym posiadaną wiedzę teoretyczną, umiejętność samodzielnego prowadzenia prac naukowo-badawczych, w tym logicznego podejścia do badanego problemu i dobrą znajomość wykorzystanych narzędzi. Przedstawił w pracy bogaty materiał teoretyczny i doświadczalny. Aplikacja opracowanej metody umożliwia w przyszłości wskazanie trendów zmian lokalnych i globalnych kierunków ewolucji hałasu lotniczego w Polsce, co może być przyczynkiem do późniejszego wnioskowania i wprowadzania zmian.

---

#### IV. Wnioski końcowe

---

Tematyka wydajnej identyfikacji zdarzeń akustycznych, zwłaszcza w stosunku do najbardziej uciążliwych pod tym względem źródeł jest bardzo aktualna. Niekwestionowanym osiągnięciem Autora rozprawy jest znalezienie gotowego do zastosowania rozwiązania, które może być wdrażane przynosząc wymierne korzyści mieszkańcom rejonów objętych oddziaływaniem akustycznym lotnisk, czy zarządcom portów lotniczych. Przedstawiona do recenzji rozprawa stanowi wartościowy dorobek naukowo-badawczy Autora, a pokazane w niej rezultaty posiadają zarówno wartości poznawcze, jak i użytkowe dla dziedziny nauk technicznych, a zwłaszcza dla dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport. Układ pracy jest prawidłowy, treść jest logicznie poprawna i dobrze koresponduje z aktualną wiedzą i praktyką prowadzenia badań i analiz hałasu – w tym nie tylko powodowanego operacjami realizowanymi przez statki powietrzne. Na podstawie analizy przedłożonej treści rozprawy uważam, że Autor dokonał trafnego doboru tematyki, poprawnie zidentyfikował i rozwiązał problem badawczy, osiągnął postawiony na wstępie cel pracy, udowodnił postawioną tezę, a wszystkie założone zadania badawcze zostały zrealizowane. Autor osadził badania w realiach praktycznej eksploatacji portów lotniczych, przeanalizował aspekty techniczne wykonywania pomiarów hałasu, obróbki i analizy danych, zaproponował gotową implementację opracowanych rozwiązań oraz przeprowadził poprawne wnioskowanie na podstawie badań, rozwiązując tym samym postawiony na wstępie praktyczny problem badawczy.

Stwierdzam, że przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr. **Michała Bukaty pt. „System automatycznej detekcji i klasyfikacji zdarzeń akustycznych związanych z przelotami statków powietrznych”** spełnia wymagania przewidziane dla rozpraw doktorskich stawiane obowiązującą Ustawą z dn. 20.07.2018 roku „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (Dz.U. z 2024 r., poz. 1571 z późn. zm.) i **wnoszę o dopuszczenie jej Autora do publicznej obrony.**

Recenzję podpisał  
Jarosław Korzeb