

Dr inż. hab. Jacek Łubczonek, prof. PM  
Politechnika Morska w Szczecinie  
Wydział Nawigacyjny,  
Katedra Geoinformatyki i Hydrografii  
ul. Żołnierska 46, 71-250 Szczecin

Szczecin, 14.11.2023

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Marty Lalak

**pt. Metodyka opracowania danych pozyskanych z niskiego pułapu na potrzeby detekcji i klasyfikacji wybranej grupy przeszkód lotniczych**

sporządzona dla Federacji Akademii Wojskowych z siedzibą w Gdyni

promotor: prof. dr hab. inż. Damian Wierzbicki, prof. WAT

**1. Podstawowe dane o kandydatce do stopnia doktora**

**a. Dane o wykształceniu kandydata do stopnia doktora**

Tytuł zawodowy: magister inżynier na kierunku geodezja i kartografia w specjalności geoinformatyka uzyskany w dniu 17 czerwca 2010 r. Wydział Inżynierii Lądowej i Geodezji Wojskowa Akademia Techniczna

**b. Informacja czy kandydat ubiegał się uprzednio o nadanie stopnia doktora**

Nie ubiegał się

**c. Przebieg pracy naukowo-zawodowej**

**2021-2023** Specjalista ds. danych BSP, CREOTECH INSTRUMENTS S. A.

**2020** - Wykładowca, Instytut Nawigacji Lotniczej Akademii Wojskowej

**2019** - Zastępca Dyrektora Instytutu Nawigacji Lotniczej Akademii Wojskowej

**2018-2020** Asystent, Katedra Nawigacji Lotniczej Wydziału Lotnictwa Lotniczej Akademii Wojskowej, Katedra przekształcona w 2019 roku w Instytut Nawigacji

**2017-2018** Starszy referent techniczny w Katedrze Nawigacji Lotniczej Wydziału Lotnictwa Wyższej Szkoły Oficerskiej Sił Powietrznych, przekształconej w 2018 roku w Lotniczą Akademię Wojskową

**2015-2017** Nauczyciel stażysta, Zespół Szkół nr 2 im. Eugeniusza Kwiatkowskiego w Puławach

**2015-2017** Pomocnik geodety, INCO Consulting Biuro Inżyniera Kontraktu – nadzór nad budową drogi S17 – odcinek Skrudki-Kurów

**2012-2014** Geodeta, Usługi geodezyjno-projektowe, Świdwin

**2009-2011** Geodeta kartograf, Polkart Sp. z o.o., Warszawa

## 2. Struktura oraz tematyka rozprawy doktorskiej

Przedłożona rozprawa doktorska została sporządzona na podstawie prac badawczych Doktorantki zawartych czterech publikacjach. Zawarto w niej streszczenie, zarówno w języku polskim jak i angielskim, następnie spis treści, wykaz użytych skrótów wraz z objaśnieniami, wprowadzenie, opis metodyki opracowania danych pozyskanych z niskiego pułapu w zakresie potrzeb zawartych w tytule rozprawy, wniosków, literatury oraz wykazu załączników. Załączniki stanowią publikacje, na podstawie których prezentowane są osiągnięcia naukowe doktorantki. Praca łącznie składa się z 178 stron. Cykl publikacji składa się z czterech pozycji, wszystkie są współautorskie, z przeważającym wkładem własnym Autorki. Deklarowany wkład własny Autorki wynosi odpowiednio dla publikacji nr 1 - 70%, publikacji nr 2 – 90%, publikacji nr 3 – 80% oraz publikacji nr 4 -80%.

Tematyka rozprawy doktorskiej związana jest z wykrywaniem przeszkód nawigacyjnych w miejscach związanych z operacjami lotniczymi takimi jak lotniska czy tereny przygodne. Przeszkody takie stanowią istotne zagrożenie w zakresie bezpieczeństwa statków powietrznych. Wykrycie można realizować klasycznymi metodami teledetekcyjnymi takimi jak lotniczy skaning laserowy, syntetyczne obrazy radarowe, obrazy lotnicze i satelitarne czy też metoda pomiarów naziemnych. Doktorantka, w celu wykrycia przeszkód nawigacyjnych proponuje autorską metodę przetwarzania danych fotogrametrycznych pozyskanych z niskiego pułapu, która uwzględnia cztery częściowe elementy. Kolejno są to: przetwarzanie jednoszeregowych boków zdjęć z redukcją i optymalizacją liczby fotopunktów, określanie pozycji BSP wyposażonych w jednoczęstotliwościowe odbiorniki, detekcję i klasyfikację wybranych przeszkód lotniczych na podstawie dopasowania obrazów oraz automatyczne wykrywanie nietypowych przeszkód lotniczych z wykorzystaniem sieci neuronowych opartych na algorytmie YOLO.

We wprowadzeniu rozprawy doktorskiej bardzo dobrze uzasadniono cel podjęcia badań, w tym opisano problematykę wykrywania przeszkód lotniczych w aspekcie powierzchni ograniczających przeszkody. Doktorantka uwypukla w tym zakresie problem wykrywania niewielkich przeszkód, charakteryzujących się wydłużonym oraz wysmukłym kształtem. Jako potencjalne rozwiązanie problemów wskazuje na zastosowanie obrazów BSP oraz rozwijanie metod automatyzujących wykrywanie różnych typów przeszkód lotniczych. Kryterium wykrycia i klasyfikacji nietypowych przeszkód lotniczych odnoszą się do wymagań zawartych w dokumentach EUROCONTROL i ICAO, co uwypukla praktyczny charakter podjętych prac badawczych. We wprowadzeniu opisano również cel główny badań, cele pośrednie, tezę oraz cztery hipotezy związane z realizacją procesu badawczego.

Opis podjętych prac badawczych znajduje się w czterech odrębnych podpunktach, powiązanych bezpośrednio z odpowiednią publikacją. W każdej części opisu uwzględniono takie sekcje jak wyniki, dyskusja i analiza otrzymanych wyników. Opis podjętego procesu badawczego w każdym przypadku zakończony jest przedstawieniem efektu wyników badań. Opisując wkład własny, Autorka cytuje 75 pozycji literaturowych.

Cztery powiązane tematycznie publikacje, stanowiące część rozprawy doktorskiej, zawierają opisy procesu badawczego, odpowiednie analizy, dyskusję oraz omówienie otrzymanych wyników badań. Cytowania w publikacjach wynoszą odpowiednio: pierwsza publikacja - 89, druga publikacja - 40, trzecia publikacja - 70 oraz czwarta publikacja - 61.

Uważam, że tematyka rozprawy jest logiczna i spójna, jednoznacznie przedstawiono w niej metodykę opracowania danych pozyskanych z niskiego pułapu na potrzeby detekcji i klasyfikacji wybranej grupy przeszkód lotniczych. W publikacjach przeprowadzono obszerne badania, analizy, każdy artykuł zawiera element dyskusji oraz omówiono wyniki badań. Struktura rozprawy oraz poziom

edytorski jest bardzo dobry. Dobór i ilość piśmiennictwa uważam za prawidłowy i odpowiedni do zakresu podjętych badań.

### 3. Zagadnienia naukowe

Głównym celem badań podjętych w rozprawie doktorskiej było opracowanie metod przetwarzania danych pozyskanych z bezzałogowych statków powietrznych na potrzeby zbierania danych o przeszkodach lotniczych. Cel pracy został osiągnięty poprzez realizację zadań cząstkowych. Pierwszym z nich było opracowanie metody wyrównania jednoszeregowego bloku zdjęć pozyskanych z niskiego pułapu dla terenów niedostępnych (publikacja nr 1). Kolejny cel cząstkowy to opracowanie metody podwyższenia dokładności pozycjonowania bezzałogowych statków powietrznych wyposażonych w odbiorniki jednoczęstotliwościowe, która umożliwiła zwiększenie dokładności produktów fotogrametrycznych (publikacja nr 2). W publikacji nr 3 i 4 zrealizowano cel cząstkowy związany z opracowaniem metody automatycznej detekcji i klasyfikacji nietypowych przeszkód lotniczych z wykorzystaniem chmur punktów i obrazów pozyskanych z niskiego pułapu.

Całokształt badań umożliwił na udowodnienie stawianej w rozprawie tezy, że „*przetwarzanie danych pozyskanych z niskiego pułapu poprzez zastosowanie algorytmu pozycjonowania BSP, algorytmu filtracji i segmentacji chmury punktów oraz algorytmu sieci neuronowej pozwoli na detekcję i identyfikację przeszkód lotniczych z dokładnością zgodną z wymaganiami EUROCONTROL i ICAO*”.

Realizację zagadnień naukowych Autorka dokumentuje następującymi autorskimi osiągnięciami:

- opracowaniem metody wyrównania jednoszeregowego bloku zdjęć poprzez zagęszczenie osnowy fotogrametrycznej punktami wiążącymi
- opracowaniem metody zwiększenia dokładności pozycjonowania BSP
- opracowaniem algorytmu klasyfikacji przeszkód lotniczych na podstawie chmur punktów
- opracowaniem metody automatyzującej wykrywanie nietypowych obiektów z wykorzystaniem sieci konwolucyjnych oraz algorytmu klasyfikacji chmury punktów.

Osiągnięcie celu głównego jest udokumentowane szczegółowymi badaniami, zrozumiałą metodologią badawczą, dyskusją oraz konstruktywnymi wnioskami. Należy przy tym wskazać szeroką analizę literatury przedmiotu. Analizując realizację zagadnień naukowych w niniejszej rozprawie doktorskiej mogę stwierdzić, że Autorka rozwiązała w nowatorski sposób postawione problemy badawcze, opracowała nowe metodyki umożliwiające osiągnięcie celu głównego, potwierdzone udowodnieniem stawianej tezy jak również czterech hipotez.

### 4. Oryginalność rozprawy

Analizując całokształt badań, uważam, że Doktorantka opracowała oryginalne rozwiązanie problemu, jakim jest detekcja i klasyfikacja przeszkód lotniczych z wykorzystaniem autorski metod przetwarzania danych fotogrametrycznych pozyskanych z niskiego pułapu. Na szczególną uwagę zasługuje kilka kwestii. Pierwsza z nich związana jest z wykorzystaniem nowoczesnych metod pozyskiwania danych, takich jak fotogrametryczne platformy BSP. Autorka trafnie zidentyfikowała problemy, związane z ich opracowaniem, co na drodze procesu badawczego umożliwiło rozwiązanie dwóch kluczowych problemów. Pierwszym z nich jest wyrównanie jednoszeregowego bloku zdjęć dla obszaru niedostępnego oraz zwiększenie dokładności pozycjonowania BSP. Zarówno jeden, jak i drugi przypadek można wykorzystać w wielu innych zastosowaniach, a więc może posiadać szerszą niż

założoną aplikacyjność. Wyrównanie bloku zdjęć z wykorzystaniem punktów wiążących uważam za szczególnie ciekawe i zarazem oryginalne rozwiązanie. Kolejną kwestią jest wykrywanie i klasyfikacja przeszkód lotniczych, z wykorzystaniem produktów przetworzeń fotogrametrycznych. Biorąc pod uwagę obecne trendy w przetwarzaniu chmur punktów, opracowane metodyki wpisują się bardzo dobrze w bieżące nurty badań, związane z automatyzacją wykrywania obiektów na podstawie danych teledetekcyjnych czy fotogrametrycznych. Doktorantka skupiła się na szczególnym przypadku, związanym z wykryciem problematycznych przeszkód lotniczych, co jest finalnym produktem w ujęciu docelowej aplikacyjności. Należy również nadmienić o wykorzystaniu spłotowych sieci neuronowych typu YOLO, co jest interesującym i nowoczesnym podejściem badawczym.

Reasumując stwierdzam, że Autorka opracowała oryginalne rozwiązanie stawianego problemu badawczego, uwzględniając ponadto współczesne metody pozyskiwania oraz przetwarzania produktów fotogrametrycznych. Takie podejście implikuje również przydatność wyników badań w rozwiązywaniu problemów z zakresu żeglugi powietrznej.

## 5. Uwagi ogólne i szczegółowe

Opracowana przez Dyplomantkę metodyka jest niezmiernie ciekawa, chociaż w moim odczuciu, zastosowane dość szerokie podejście do rozwiązania problemów badawczych, przyczyniło się do trochę węższego zagłębienia się w szczegóły z nimi związane. Nie jest to uchybieniem w przedmiotowej rozprawie, ponieważ Doktorantka opracowała metodykę przetwarzania danych, co jest zasadniczym wynikiem podjętych prac. Zdaję też sobie sprawę, że każde badanie mają swój ustalony zakres, niemniej jednak zabrakło w rozprawie szerszej dyskusji odnośnie ograniczeń i dalszych badań odnośnie każdej z metodyk. Wydaje mi się, że taki obraz badań kreował by znacznie lepiej dalsze ich kierunki, z uwypukleniem tych najbardziej istotnych z punktu widzenia kompletności opracowanej metodyki. Przykładem może być np. uczenie sieci YOLO czy szersza analiza wpływu jakości chmury punktów na obliczane wysokości obiektów. Kolejną ogólną uwagą jest brak zastosowania zgodnego z metodykami zbieżnego potoku przetwarzania danych. Trudno wywnioskować, czy poszczególne przypadki należy traktować odrębnie, czy też mogą stanowić jednolity ciąg przetwarzania geodanych.

Przedstawione poniżej uwagi dotyczące rozprawy doktorskiej odnoszą się do konkretnych fragmentów pracy, poczynając od prezentacji graficznej a kończąc na metodologicznych aspektach badawczych. Zwrócono w nich uwagę na kwestie związane z wyborem prezentacji danych, precyzją stawianych hipotez oraz zastosowanych metod badawczych. Dodatkowo, wskazano miejsca, w których konieczne jest dokładniejsze wyjaśnienie lub uzasadnienie przyjętych założeń.

### Uwagi szczegółowe

Str. 9. Rysunek nr 1 przedstawia powierzchnie ograniczające przeszkody, wraz ze skalą barwną wysokościową. Prezentację taką uznaję nie za bardzo właściwą, ponieważ trudno zorientować się, jaki jest rozkład i rząd wysokości powierzchni ograniczających, tym bardziej, że zastosowano taką samą skalę barwną dla różnych powierzchni: podejścia, przejściowej, wewnętrznej oraz stożkowej.

Str. 12. Z tabeli nr 1 wynika, że w strefie 1 można stosować tylko nie najbardziej optymalne metody pomiaru. Czy taki jest stan rzeczywisty? Dlaczego wieżowiec zakwalifikowano do kategorii niewielkiej przeszkody lotniczej?

Str. 19. Hipoteza H1 jest według mnie zbyt ogólna, poprzez zastosowanie stwierdzenia „uwzględnienie dodatkowych parametrów”. W takim podejściu można założyć, że uwzględnienie dodatkowych

parametrów wpłynie pozytywnie na realizację jakiegokolwiek procesu. Proszę o wymienienie tych parametrów.

Str. 24. Wyniki opracowanych autorskich metod przetwarzania jednoszeregowych bloków zdjęć z redukcją i optymalizacją liczby fotopunktów opierają się na względnej analizie porównawczej (analizowane są dwa warianty). Dlaczego nie zdecydowano się na zasymulowanie obszaru niedostępnego, co umożliwiło by porównanie wyrównania jednoszeregowego bloku zdjęć względem wzorcowej, klasycznej osnowy fotogrametrycznej?

Str. 52. W pewnych częściach pracy można odnieść wrażenie, że nie stosuje się proponowanego potoku przetwarzania danych. Na stronie 52 do badań wykorzystuje się produkty opracowane z sygnalizowanych fotopunktów. Jak wyniki tego etapu badań przekładają się na badania z wcześniejszych etapów, tj. metod wyrównania szeregu zdjęć i poprawy dokładności wyrównania pozycji BSP?

Str. 53. Jaki wpływ mogą mieć bieżące warunki terenowe na możliwość pozyskania danych i obliczenia współrzędnych pionowych obiektów? Np. pokrywa śnieżna, słabsze warunki oświetleniowe, parametry ekspozycji kamery, typ obiektu. Proszę uwypuklić potencjalne ograniczenia w zakresie pozyskania danych i ich ewentualny wpływ na końcową obliczoną wysokość obiektu (w aspekcie jakości pozyskanych danych).

Str.58. Dlaczego założono na rysunku poglądowym 20 (b), że jedna z łopat turbiny wiatrowej jest pionowa? Umożliwia to oczywiście określenie maksymalnej wysokości przeszkody, jednak większości przypadków odfotografowanie turbin wiatrowych będzie miało miejsce przy ich innym położeniu. Skutkuje to pozornym zaniżeniem wysokości obiektu, biorąc pod uwagę, że  $H_{\max}$  jest obliczony na podstawie chmury punktów.

Str. 61. Proszę o komentarz odnośnie ilości obiektów w ciągu uczącym dla sieci YOLO, która w badaniach dla pojedynczej klasy nie przekracza 200. Czy rozpatrywane obiekty można zaliczyć do prostych przypadków, tj. posiadających zbliżoną geometrię i występujących w miarę stabilnym otoczeniu (co może wymagać mniejszej ilości danych w ciągu uczącym) czy raczej jako bardziej złożone, a więc odfotografowane w różnych skalach, różnych warunkach oświetleniowych, przesłoniętych częściowo, w zmiennym otoczeniu (co może wymagać więcej danych w ciągu uczącym) ? Wyniki można uznać za zadowalające, ale czy będzie można osiągnąć podobną powtarzalność na innych obrazach?

## 6. Wniosek końcowy

Po przeanalizowaniu rozprawy doktorskiej autorstwa mgr inż. Marty Lalak, opartej na opublikowanych artykułach naukowych o powiązanej tematyce, uważam, że zawiera ona adekwatną wiedzę teoretyczną w zakresie badań w dyscyplinie inżynieria lądowa, geodezja i transport. Uznaję również, że zaproponowana w rozprawie metodyka stanowi oryginalne podejście do rozwiązania podjętego problemu naukowego. Przedstawiona praca charakteryzuje się poprawną strukturą i wysokim poziomem edycji. Całość publikacji tworzy spójną całość tematyczną. Badania i wyniki prezentowane w pracy potwierdzają dojrzałość mgr inż. Marty Lalak do samodzielnego prowadzenia badań naukowych.

W związku z powyższym stwierdzam, że przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim, zawarte w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (Dz.U. z 2023 r. poz.742 z późn. zm.) oraz wnioskuje o dopuszczenie rozprawy doktorskiej do obrony publicznej.

### **7. Wniosek o wyróżnienie rozprawy**

Uważam również, pomimo kilku uwag, że praca stanowi ciekawy podejście realizacyjne w rozwiązywaniu zagadnień badawczych. Podejście takie uwypukla również szeroką wiedzę Doktorantki, jak również jej zdolność do jej stosowania w celu opracowania oryginalnych metod. W związku powyższym wnioskuję o wyróżnienie rozprawy doktorskiej mgr inż. Marty Lalak.

A handwritten signature in blue ink, consisting of stylized initials and a surname, followed by a small circle containing a minus sign (-).