

dr hab. inż. Sławomir Mikrut, prof. uczelniany
Akademia Górniczo-Hutnicza im. S. Staszica w Krakowie
Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska
Katedra Fotogrametrii, Teledetekcji Środowiska
i Inżynierii Przestrzennej
Al. Mickiewicza 30
30-059 Kraków
smikrut@agh.edu.pl

Kraków, 4 grudnia 2023 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Marty Lalak

na temat :

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

1. Podstawa formalna opracowania recenzji

Formalną podstawą opracowania recenzji jest Uchwała nr 3/2023 Rady Dyscypliny Naukowej - Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Federacji Akademii Wojskowych z dnia 26 lipca 2023 roku oraz pismo Pana Przewodniczącego Dyscypliny Naukowej Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport - dr hab. inż. Mieczysława Bakuły, prof. LAW z dnia 31 sierpnia 2023 roku.

Promotorem rozprawy doktorskiej był Pan dr hab. inż. Damian Wierzbicki, prof. WAT,

2. Przedstawienie podstawowych danych o kandydatce na stopnia doktora

Pani mgr inż. **Marta Lalak** ukończyła Studia Magisterskie Inżynierskie, kierunek - Geodezja i Kartografia, specjalność - Geoinformatyka w 2010 roku - Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Inżynierii Lądowej i Geodezji.

W latach 2015 - 2016 uzupełniła też wykształcenie o przygotowanie pedagogiczne w ramach Studiów Podyplomowych w Lubelskiej Szkole Wyższej w Rykach, Wydział Pedagogiczny.

Posiada liczne nagrody i wyróżnienia:

2021 - Nagroda Rektora-Komendanta za publikacje naukowe. Lotnicza Akademia Wojskowa, Dęblin

2020 - Nagroda Rektora-Komendanta III stopnia za działalność organizacyjną, Lotnicza Akademia Wojskowa, Dęblin

2019 - Odznaka Pamiątkowa 25 lat Wydziału Lotnictwa Lotniczej Akademii Wojskowej, Lotnicza Akademia Wojskowa, Dęblin

Odbyła też liczne szkolenia i posiada certyfikaty:

2023 - Certyfikat z język angielskiego na poziomie B2, Lotnicza Akademia Wojskowa, Dęblin

2020 - Szkolenie z „Nauczania z wykorzystaniem MATLAB Campus Wide License”, Lotnicza Akademia Wojskowa, Dęblin

2019 - Szkolenie PRINCE2 Foundation, Lotnicza Akademia Wojskowa, Dęblin

2019 - Szkolenie Zarządzanie danymi przestrzennymi w ArcGIS\ ESRI Polska, Warszawa

2017 - Certyfikat językowy STANAG 6001 na poziomie 222, Wyższa Szkoła Oficerska Sił Powietrznych, Dęblin

2017 - Uzyskanie stopnia nauczyciela kontraktowego, Zespół Szkół nr 2, Puławy

Doktorantka posiada aktualnie 8 publikacji rejestrowanych w bazie SCOPUS, 20 cytowań i h-index równy 3.

3. Przedstawienie informacji o ocenianej rozprawie doktorskiej

3.1 Ocena istotności i aktualności tematu

Temat naukowy podjęty przez Doktorantkę w przewodzie doktorskim dotyczy metodyki opracowania danych pozyskanych z niskiego pułapu na potrzeby detekcji i klasyfikacji wybranej grupy przeszkód lotniczych. Badania naukowe prowadzone w tym kierunku są bardzo aktualne zwłaszcza w dobie gwałtownego rozwoju technik niskopułapowych.

Szczególnie znaczenie mogą mieć zwłaszcza w obecnym czasie, gdy militarne zastosowania wymagają coraz większej uwagi w czasie narastających konfliktów, a podjęty temat ma taki charakter, czyli może mieć zastosowanie na polach bitewnych. Można zatem przyjąć, że obok wartości naukowych, podjęta tematyka ma mocne uzasadnienie praktyczne (w tym militarne).

Część naukową można analizować w kilku aspektach. Doktorantka podjęła się rozwiązania wielu wątków badawczych takich jak:

- wyrównanie bloku zdjęć pozyskanych z niskiego pułapu dla terenów niedostępnych,
- podwyższenie dokładności pozycjonowania bezzałogowych statków powietrznych wyposażonych w odbiorniki jednoczęstotliwościowe, a przez to dokładności produktów fotogrametrycznych,
- czy opracowanie metody automatycznej detekcji i klasyfikacji nietypowych przeszkód lotniczych na podstawie gęstych chmur punktów oraz obrazów pozyskanych z niskiego pułapu.

Samo zagadnienie detekcji i klasyfikacji wybranych przeszkód lotniczych jest zagadnieniem, które można rozwiązywać na kilka sposobów jak słusznie Doktoranta zauważyła w autoreferacie (str. 11). Podała przy tym w bardzo przystępnej tabelaryzowanej formie wady i zalety poszczególnych metod wskazując technikę BSP jako najbardziej korzystną i skupiła się na niej w swoich badaniach a wyniki przedstawiła w rozprawie doktorskiej.

Ponieważ temat wiąże się też z bezpieczeństwem jest bardzo aktualny i ważny z punktu widzenia praktycznego, nad którym pracuje wiele ośrodków naukowo-badawczych na całym świecie.

Proponowane przez Doktorantkę rozwiązania mają zatem duży aspekt praktyczny, umożliwiając bowiem wykonanie analiz dotyczących zmian terenowych. Wpisują się zatem w światowe trendy rozwijania tego typu badań.

Reasumując, podjęta tematyka jest niezmiernie istotna, ze względu na rozwój zaawansowanych algorytmów jak również badań w dziedzinie lotnictwa. Są to badania interdyscyplinarne ponieważ obejmują kilka dziedzin takich jak: przetwarzanie danych obrazowych, analiza danych z niskiego pułapu czy sztuczna inteligencja.

Uważam, że podjęty w rozprawie problem jest aktualny i ważny, a także bardzo mocno osadzony w realiach.

3.2 Cel i teza rozprawy doktorskiej

Głównym celem pracy było opracowanie metod przetwarzania danych pozyskanych z bezzałogowych statków powietrznych na potrzeby zbierania danych o przeszkodach lotniczych. Doktorantka, aby osiągnąć cel główny zdefiniowała cele pośrednie jako:

- opracowanie metody wyrównania jednoszeregowego bloku zdjęć pozyskanych z niskiego pułapu dla terenów niedostępnych,
- opracowanie metody podwyższenia dokładności pozycjonowania bezzałogowych statków powietrznych wyposażonych w odbiorniki jednoczęstotliwościowe, a przez to dokładności produktów fotogrametrycznych, na potrzeby zbierania danych o przeszkodach lotniczych, bez pomiaru fotopunktów,
- opracowanie metody automatycznej detekcji i klasyfikacji nietypowych przeszkód lotniczych na podstawie gęstych chmur punktów oraz obrazów pozyskanych z niskiego pułapu.

Następnie na stronie 18 rozprawy zdefiniowała główną tezę badawczą, która brzmi:

przetworzenie danych pozyskanych z niskiego pułapu poprzez zastosowanie algorytmu poprawy 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.

Do przedstawionej tezy badawczej Doktorantka podała na stronie 19 następujące hipotezy badawcze:

H1: Uwzględnienie dodatkowych parametrów w procesie aerotriangulacji pozwala na podwyższenie dokładności wyrównania bloku jednoszeregowego przy ograniczonej liczbie fotopunktów dla terenów niedostępnych, przy zastosowaniu niskobudżetowych bezzałogowych statków powietrznych, wyposażonych w jednoczęstotliwościowe odbiorniki GPS.

H2: Zastosowanie algorytmu pozycjonowania absolutnego SPP z użyciem produktów IGS pozwoli na zwiększenie dokładności wyznaczania pozycji bezzałogowego statku powietrznego dla pozyskania danych o przeszkodach lotniczych.

H3: Segmentacja chmur punktów zmodyfikowanym algorytmem RANSAC poprzez zastosowanie odpowiedniej filtracji i segmentacji gęstej chmury punktów pozwoli wykrycie przeszkód lotniczych z dokładnością zgodną z przepisami EUROCONTROL i ICAO.

H4: Zastosowanie metody detekcji i klasyfikacji nietypowych przeszkód lotniczych z wykorzystaniem głębokich sieci neuronowych pozwoli na zwiększenie dokładności identyfikacji oraz poprawności klasyfikacji przeszkód lotniczych.

Tak sformułowana teza badawcza oraz przyjęte hipotezy w mojej opinii świadczą o prawidłowym sposobie planowania badań i ich realizacji. Doktorantka dążąc do osiągnięcia celu głównego, realizowała po kolei cele pośrednie, kończąc je odpowiednimi publikacjami, aby tym samym udowodnić postawioną tezę badawczą poprzez udowodnienie po kolei szczegółowych hipotez badawczych.

Tak skonstruowana metodyka badawcza świadczy o dobrym przygotowaniu Doktorantki do prowadzenia badań. Skutkiem tego było opracowanie autorskiej metody przetwarzania danych pozyskanych z niskiego pułapu na potrzeby zbierania danych o przeszkodach lotniczych.

Metoda ta została zweryfikowana wykonanymi analizami co potwierdziło prawidłowość stawianych hipotez.

Zdefiniowane głównego celu badawczego oraz celów szczegółowych (pytań badawczych) stanowią w mojej opinii spójną całość potwierdzoną badaniami opisanymi w załączonych publikacjach.

Celem zweryfikowania celów badawczych Doktorantka zebrała dostępne materiały, prawidłowo przeprowadziła eksperymenty badawcze oraz opisała je bardzo szczegółowo w dobrych czasopismach.

Założone osiągnięcie naukowe miało zostać udowodnione poprzez przeprowadzone eksperymenty badawcze na podstawie odpowiednio zebranych materiałów oraz przyjętej metodyce badawczej.

W mojej opinii postawiony w rozprawie cel pracy oraz pytania badawcze są prawidłowe, hipotezy badawcze prawidłowo postawione, a wykazanie ich słuszności ma zarówno aspekt poznawczy jak i duże znaczenie praktyczne.

3.3 Układ i treść rozprawy

Rozprawa doktorska jest cyklem spójnych tematycznie publikacji. Składa się z czterech artykułów opublikowanych w czasopismach naukowych znajdujących się na liście Ministerstwa Edukacji i Nauki oraz w raportach JCR (*Journal Citation Reports*).

Rozprawa składa się z części opisowej oraz cyklu artykułów załączonych do pracy na końcu w formie załącznika.

Praca zawiera:

- streszczenie w języku polskim i angielskim,
- wykaz użytych skrótów wraz z objaśnieniami,
- wprowadzenie (**rozdział 1**),
- opis cyklu publikacji (metodyka badań, wyniki, dyskusja, analiza otrzymanych wyników) - jako **rozdział 2**,
- wnioski (**rozdział 3**),
- literaturę,
- **wykaz załączników** wraz z wydrukowanymi czterema publikacjami cyklu.

Autoreferat składa się ze 178 stron. Wprowadzenie jest na 11 stronach, następnie opis publikacji (44 strony), wnioski (4), literatura (7), która zawiera 75 pozycji z czasopism polskich i zagranicznych oraz na końcu jak załącznik wydrukowane zostały publikacje z cyklu (98 stron).

Praca zaczyna się od streszczeń w języku polskim i angielskim. Następnie podany został bardzo przydatny wykaz użytecznych skrótów oraz wprowadzenie, w którym Doktorantka podaje znaczenie podjętego tematu. W rozdziale drugim Doktorantka streszcza cykl czterech publikacji, co jest bardzo cenne. W podrozdziałach przedstawia metodykę badań oraz prezentuje uzyskane wyniki, które przeanalizowano dla każdej z publikacji.

W rozdziale trzecim bardzo dobrze i syntetycznie dokonano podsumowania całego cyklu publikacji. Jako załącznik (od 1 do 4) dodano wydruki publikacji, składających się na niniejszą rozprawę.

Cykl publikacji składa się z czterech pozycji opublikowanych w wysoko punktowanych czasopismach:

1. **Lalak M. (70%)**, Wierzbicki D. (15 %), Kędzierski M. (15%), Methodology of processing single-strip blocks of imagery with reduction and optimization number of ground control points in UAV photogrammetry, Remote Sensing 2020, 12(20), 3336.

2. **Lalak M. (90 %)**, Krasuski K. (15%), Wierzbicki D. (5%), Methodology to improve the accuracy of the determination of the position of UAV equipped with single-frequency receivers for the purposes of gathering data about aviation obstacles, Scientific Journal of Silesian University of Technology, Series Transport 2023, 119, 83-104, ISSN: 0209-3324.

3. **Lalak M. (80 %)**, Wierzbicki D. (20%), Methodology of detection and classification of selected aviation obstacles based on UAV dense image matching, IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing 2022, 15, 1869-1883.

4. **Lalak M. (80%)**, Wierzbicki D. (20%), Automated detection of atypical aviation obstacles from UAV images using a YOLO algorithm, Sensors 2022, 22(17), 6611.

Prezentowane publikacje stanowią w mojej opinii zwarty cykl tematyczny dobrze zdefiniowany tytułem rozprawy. Dwie prace są napisane w składzie trzyosobowym a dwie są dwu-autorskie.

We wszystkich czterech publikacjach udział Doktorantki wydaje się być znaczny i wynosi odpowiednio: 70%, 90%, 80% i 80%.

Artykuły są opublikowane w dobrych czasopismach naukowych:

- MDPI (dwa w Remote Sensing i jeden w Sensors),
 - Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport,
- z punktacją 100 pkt. wg aktualnej punktacji MEiN.

Publikacje składające się na cykl prezentują kolejne etapy algorytmu postępowania, mającego na celu opracowanie metodyki przetwarzania danych z BSP dla wykrycia i określenia wysokości przeszkód o wydłużonym i wysmukłym kształcie.

Pierwsza publikacja podaje eksperymenty i wynik dla badań związanych z wyrównaniem jednoszeregowego bloku zdjęć pozyskanych z niskiego pułapu na potrzeby zbierania danych o przeszkodach lotniczych. W pracach zaproponowano dwie metody. Pierwsza - autorska - proponuje użycie punktów wiążących do wyrównania i bazuje na metodzie regresji liniowej. Druga na optymalizacji nieliniowej - zmodyfikowany algorytm LMP. W mojej opinii jest to bardzo ciekawe podejście do bardzo trudnego zagadnienia jakim jest wyrównywanie bloków jednoszeregowych wydłużonych. W literaturze nie ma jednoznacznych rozwiązań, są różne podejścia, a proponowane przez Doktorantkę może być jednym z nich.

Druga publikacja przedstawia wyniki badań dotyczące podwyższania dokładności produktów fotogrametrycznych poprawiając pozycjonowanie dzięki odbiornikom jednoczęstotliwościowym pod kątem zbierania danych o przeszkodach, a więc celu jaki przyświeca badaniom Doktorantki. Docelowo bez użycia fotopunktów. Prace prowadzono przy wykorzystaniu SPP z użyciem produktów IGS. Uzyskane wyniki potwierdzają, że rozwiązanie zaproponowane przez Doktorantkę (metoda pozycjonowania SPP z użyciem produktów IGS) ma znaczenie jako jeden z elementów podnoszenia dokładności produktu końcowego.

Trzecia publikacja obejmuje swoimi pracami użycie algorytmów detekcji i klasyfikacji nietypowych, bo wydłużonych przeszkód lotniczych. Badania prowadzono na chmurze punktów przy użyciu nowego algorytmu klasyfikacji i filtracji chmury punktów oraz modyfikacji

algorytmu RANSAC. Doktorantka zastosowała nowatorskie podejście, które pozwoliło na wykrycie przeszkód lotniczych nie tylko o charakterystycznym wydłużonym kształcie, ale też w pobliżu lotnisk. Zachowała przy tym możliwość osiągnięcia założonych dokładności zgodnych z obowiązującymi przepisami co miało kluczowe znaczenia dla badań.

Czwarta publikacja przedstawia wyniki badań dotyczące automatycznej detekcji i klasyfikacji nietypowych przeszkód lotniczych na podstawie danych z BSP i fuzji algorytmu YOLOv3 do detekcji obiektów na obrazie oraz zmodyfikowanej metody klasyfikacji i filtracji chmury punktów bazując na trzeciej publikacji z cyklu. Na szczególną uwagę zasługuje porównanie uzyskanych wyników współrzędnych poziomych i wysokościowych z danymi zawartymi w bazie eTOD i suplementach AIP. Doktorantka zaprezentowała w pracy innowacyjne połączenie dwóch technik pozyskiwania danych co pozwoliło osiągnąć założone cele czyli zwiększenie dokładności identyfikacji i klasyfikacji przeszkód lotniczych w oparciu m.in. o metody głębokiego uczenia maszynowego co jest aktualnym trendem w nauce i przyszłościowym kierunkiem. Jest to bardzo nowatorskie podejście.

Reasumując wspólnym mianownikiem wszystkich publikacji są eksperymenty badawcze, których wyniki dążą do optymalizacji procesu przetwarzania danych i podnoszenia dokładności. Drugą płaszczyzną odniesienia jest charakter danych czyli dane niskopułapowe (czyli dane pozyskane z BSP).

Cykl publikacji miał zatem rozwiązać problem badawczy polegający na opracowaniu autorskiej metodyki przetwarzania danych pozyskanych z niskiego pułapu poprawiając dokładność autorskim rozwiązaniem polegającym na:

- wyrównaniu bloku zdjęć,
- pozycjonowania BSP,
- filtracji oraz segmentacji gęstych chmur punktów,
- implementacja algorytmów głębokiego uczenia maszynowego na potrzeby detekcji i klasyfikacji przeszkód lotniczych zgodnie z wymaganiami EUROCONTROL i ICAO.

W mojej opinii cel pracy został osiągnięty.

3.4 Uwagi merytoryczne:

3.4.1 Ocena wartości naukowej rozprawy

Wartością naukową pracy i jej wkład w rozwój dyscypliny naukowej **Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport** jest opracowanie autorskiej metody pozwalającej na detekcję i identyfikację przeszkód lotniczych z dokładnością zgodną z wymaganiami EUROCONTROL i ICAO.

Metoda ta bazuje na wykorzystaniu algorytmów:

- poprawy pozycjonowania BSP,
- filtracji i segmentacji chmury punktów,
- sieci neuronowej głębokiego uczenia,

a jako dane wejściowe wykorzystywane są obrazy z fotogrametrii niskopułapowej (BSP).

W mojej opinii za najważniejsze i innowacyjne osiągnięcie naukowe Doktorantki należy przyjąć:

- opracowanie autorskiej metody wyrównania jednoszeregowego bloku zdjęć pozyskanych z niskiego pułapu dla terenów niedostępnych,
- opracowanie autorskiej metody podwyższenia dokładności pozycjonowania BSP z odbiornikami jednoczęstotliwościowymi co podnosi dokładność opracowanych produktów fotogrametrycznych,
- opracowanie autorskiej metody automatycznej detekcji i klasyfikacji nietypowych przeszkód lotniczych na podstawie gęstych chmur punktów oraz obrazów pozyskanych z BSP.

Temat podjęty przez Doktorantkę jest stosunkowo nowym zagadnieniem, podejmowanym od niedawna w nauce w zakresie prac związanych z fotogrametrią i przetwarzaniem obrazów.

Doktorantka dzięki swojej wiedzy i doświadczeniu badawczym poradziła sobie dobrze z tym nowym i trudnym problemem.

3.4.2 Uwagi krytyczne

W mojej opinii rozprawa jest bardzo dobra - brak uwag krytycznych - niemniej jednak mam kilka drobnych spostrzeżeń z prośbą o komentarz podczas obrony.

1. Doktoranta zaznacza w swojej pracy, że pracuje na danych niskopułapowych (BSF). Skąd takie założenie? Czy tylko wielkość piksela uniemożliwi identyfikację badanych obiektów? Czy to wynika tylko z faktu, że dysponowała takimi danymi czy jest jakieś ograniczenie jeśli chcielibyśmy np. wykorzystać dane lotnicze w dużej skali? Czy powstała metodyka i algorytmy mogą również funkcjonować na danych lotniczych i satelitarnych, wiedząc, że mamy je w coraz wyższej rozdzielczości? Gdzie wg Doktorantki umiejscowiona jest granica niskiego pułapu?

2. W przypadku prac związanych z uczeniem maszynowym (wykorzystania głębokiego uczenia i sztucznych sieci neuronowych) ważny jest dobór odpowiednich danych jako zbiór uczący i testowy. Czym kierowała się Doktorantka wybierając taką a nie inną liczbę i rodzaj danych? Brakuje również szczegółowych informacji, czym kierowali się Autorzy publikacji przy wyborze obrazów do badań (tekstura obrazu, pory roku, stan wegetacji jako tło do wykrywania itp).

Uwagi edytorskie, językowe, redakcyjne i inne

Rozprawa napisana jest bardzo dobrym językiem, układ pracy jest prawidłowy. Praca jest również bardzo staranna i dobrze przygotowana od strony edytorskiej, czytelna i przejrzysta.

4. Wniosek końcowy

Moja ocena merytoryczna rozprawy doktorskiej jest wysoka.

Doktorantka wykazała się odpowiednią wiedzą teoretyczną oraz posiada umiejętności samodzielnego prowadzenia interdyscyplinarnego eksperymentu naukowego i prawidłowego interpretowania wyników.

Praca składa się z kilku wątków badawczych. Doktorantka dobrze poradziła sobie z rozbiciem ich na osobne zagadnienia, prawidłowo zdefiniowała cele szczegółowe i zaprojektowała eksperymenty badawcze.

Cel główny oraz cele szczegółowe zostały osiągnięte i zostały potwierdzone w eksperymentach opublikowanych w dobrych czasopismach naukowych.

Materiał badawczy oraz metodyka badawcza prawidłowo dobrana pozwoliła udowodnić cel główny rozprawy. Praca wymagała prowadzenia badań w szerszym zespole co tłumaczy współautorstwo w publikacjach, ale należy podkreślić, że wkład Doktorantki w te prace był bardzo wysoki.

Na podstawie przeprowadzonych eksperymentów oraz wyników badań zrealizowany został cel pracy oraz udowodnione cele szczegółowe.

Doktorantka wykazała się dobrym warsztatem naukowym, dobierając odpowiednie metody badawcze, poradziła sobie z interdyscyplinarnością rozwiązywanych problemów, udowodniła, że potrafi analizować i oceniać uzyskane rezultaty oraz formułować poprawne wnioski.

Stwierdzam zatem, że recenzowana rozprawa doktorska na którą składa się cykl czterech współautorskich publikacji Pani **mgr inż. Marty Lalak pt. "Metodyka opracowania danych pozyskanych z niskiego pułapu na potrzeby detekcji i klasyfikacji wybranej grupy przeszkód lotniczych"** spełnia wymagania zawarte w ustawie "O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki" z dnia 20 lipca 2018 r., art. 187, z późniejszymi zmianami.

Stawiam zatem wniosek o przyjęcie przedłożonej rozprawy doktorskiej i dopuszczenie mgr inż. Marty Lalak do następnych etapów przewidzianych w przepisach o przewodach doktorskich.

Doktorantka wykazała się oryginalnością w swoich badaniach oraz wpisała się w najnowsze trendy stosowane w przetwarzaniu i analizie danych wykorzystując najnowsze metody głębokiego uczenia maszynowego otrzymując jednocześnie bardzo dobre rezultaty **wnoszę zatem o wyróżnienie pracy.**

W mojej opinii Doktorantka wnosi do dyscypliny naukowej Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport swoje innowacyjne osiągnięcie naukowe w postaci::

- opracowania autorskiej metody wyrównania jednoszeregowego bloku zdjęć pozyskanych z niskiego pułapu dla terenów niedostępnych,
- opracowania autorskiej metody podwyższenia dokładności pozycjonowania BSP z odbiornikami jednoczesnościowymi podnoszącymi dokładność opracowanych produktów fotogrametrycznych,
- opracowania autorskiej metody automatycznej detekcji i klasyfikacji nietypowych przeszkód lotniczych na podstawie gęstych chmur punktów oraz obrazów pozyskanych z BSP.



dr hab. inż. Sławomir Mikrut, prof. uczelni

Kraków, 4 grudnia 2023 r.