

dr hab. inż. Marta Szostak, prof. URK

Kraków, dn. 27 lutego 2023 r.

Katedra Zarządzania Zasobami Leśnymi

Wydział Leśny

Uniwersytet Rolniczy im. H. Kołłątaja w Krakowie

al. 29 Listopada 46

31- 425 Kraków

Recenzja rozprawy doktorskiej

Pana mgr. Macieja Lisiewicza

pt.

Metoda korekcji detekcji pojedynczych drzew z wykorzystaniem danych z lotniczego skanowania laserowego

wykonanej pod kierunkiem:

dr. hab. Krzysztofa Stereńczaka, prof. IBL – promotor

dr Agnieszka Kamińska – promotor pomocniczy

Instytut Badawczy Leśnictwa, Zakład Geomatyki

Podstawa oceny

Formalną podstawą sporządzenia recenzji jest pismo (numer RN-0000-237/2022) Z-cy Przewodniczącego Rady Naukowej Instytutu Badawczego Leśnictwa, Pani prof. dr hab. Iwony Skrzecz, z dnia 30 grudnia 2022 roku. W niniejszym piśmie zostałam wskazana jako recenzent w przewodzie doktorskim Pana mgr. Macieja Lisiewicza pt. "*Metoda korekcji detekcji pojedynczych drzew z wykorzystaniem danych z lotniczego skanowania laserowego*" na podstawie uchwały Rady Naukowej IBL z dnia 15 grudnia 2022 r.

Wstęp

Opracowania w zakresie wdrażania nowoczesnych technologii do praktyki leśnej dotyczą min. stosowania technologii skanowania laserowego, w tym z pułapu lotniczego – Airborne Laser Scannig (ALS). Istnieje wiele prac badawczych z zakresu zastosowania chmur punktów ALS dla pozyskiwania wybranych parametrów pojedynczych drzew i drzewostanów min. szacowania liczby drzew, a tym samym wskazania ich zagęszczenia w drzewostanie. Wysoka przydatność danych z lotniczego skanowania laserowego w zakresie detekcji pojedynczych drzew została wskazana, a rozwój metodyki w tym zakresie jest przedmiotem wielu opracowań naukowych. Obszar zainteresowań badawczych Doktoranta – korekcja detekcji pojedynczych drzew z wykorzystaniem danych z lotniczego skanowania laserowego wpisuje się we wskazany nurt badań.

Struktura rozprawy

Przedłożona do oceny rozprawa doktorska Pana mgr. Macieja Lisiewicza składa się z 50 stronicowego Autoreferatu, do którego dołączono kopie trzech prac naukowych, wchodzących w skład spójnego tematycznie zbioru wraz z oświadczeniami o procentowym wkładzie autorów w ich opracowanie.

Cykl artykułów (opublikowane w 2022 roku) stanowią:

- I. Lisiewicz M., Kamińska A., Stereńczak K., 2022. Recognition of specified errors of Individual Tree Detection methods based on Canopy Height Model. Remote Sensing Applications: Society and Environment, 25, 100690. DOI: 10.1016/j.rsase.2021.100690
Impact Factor = 3,371; MNiSW – 100 pkt
- II. Lisiewicz M., Kamińska A., Kraszewski B., Stereńczak K., 2022. Correcting the Results of CHM-Based Individual Tree Detection Algorithms to Improve Their Accuracy and Reliability. Remote Sensing, 14(8), 1822. DOI: 10.3390/rs14081822
Impact Factor = 5,349; MNiSW – 100 pkt
- III. Lisiewicz M., Kamińska A., Stereńczak K., 2022. Influence of the correction method of CHM-based Individual Tree Detection algorithms results on the estimation of stand characteristics. Sylwan 166(6), 362-377. DOI: 10.26202/sylwan.2022040
Impact Factor = 0,654; MNiSW – 70 pkt.

Przedłożone jako spójny cykl prace objęte były etapem recenzji czasopism naukowych. Łączny Impact Factor dla wskazanych prac to 9,37. Suma punktów MNiSW–270 pkt. W niniejszych pracach Doktorant jest pierwszym autorem, z zadeklarowanym udziałem procentowym o wartości odpowiednio 75%, 75% i 80% (udziały pozostałych współautorów wynosiły od 5 do 15%). W zakresie wkładu Doktoranta we wskazane prace można wyróżnić: przygotowanie koncepcji pracy, przegląd literatury, metodykę, analizę danych, wizualizacje oraz opracowanie artykułów w wersji pierwszej oraz w fazie recenzji i w formie ostatecznej. Wyszczególnione udziały w poszczególnych pracach, świadczą o opanowaniu przez Pana mgr. Macieja Lisiewicza warsztatu badawczego – od zbierania danych, poprzez ich przetworzenie, aż po końcowe opracowanie.

Hipotezy, cele naukowe rozprawy, materiały i metody badawcze oraz wyniki i wnioski płynące z prowadzonych badań zostały zaprezentowane w formie Autoreferatu. Streszczenie rozprawy doktorskiej przedstawione zostało w języku polskim i angielskim.

Charakterystyka i znaczenie rozprawy

Celem pracy było wykorzystanie danych z lotniczego skanowania laserowego (ALS) dla korekcji detekcji pojedynczych drzew. Doktorant wskazuje, iż mając na uwadze problemy wynikające z zastosowania metod detekcji pojedynczych drzew, ważne jest ich doskonalenie, dla umożliwienia dokładniejszej identyfikacji pojedynczych drzew, nie zważając na specyfikę analizowanego obszaru. Wielu autorów próbowało sparametryzować swoje metody lub zidentyfikować błędy, aby uniknąć nieprawidłowo wskazanych lub podzielonych drzew. Doktorant, biorąc pod uwagę opublikowane badania, proponuje rozwiązanie umożliwiające korekcję błędów wynikających z metod ITD – Individual Tree Detection. Przedstawia rozwiązanie integrujące różne grupy zmiennych w celu identyfikacji błędów segmentacji. Poza zmiennymi geometrycznymi, postanawia uwzględnić również zmienne strukturalne opisujące kształt drzewa w trójwymiarowej chmurze punktów. Opracowana przez Doktoranta metoda korekcji zostaje przetestowana w zróżnicowanych pod względem wysokościowym i gatunkowym drzewostanach, co pozwala na określenie w jakich warunkach efektywnie wpływa na poprawę identyfikacji drzew. Teren badań – Puszcza Białowieska jest wart podkreślenia, jako jeden z najbardziej skomplikowanych ekosystemów leśnych Europy Centralnej.

Wstępny rozdział pracy to kompletne i wyczerpujące wprowadzenie czytelnika do tematyki stosowania danych ALS w szacowaniu biometrycznych charakterystyk lasu. Autor wskazuje na występujący w ostatnich latach znaczący rozwój teledetekcyjnych metod w tzw. precyzyjnym leśnictwie. Doktorant omawia tematykę rozwoju metod geoinformatycznych, w szczególności wskazując problemy w stosowaniu zautomatyzowanych metod wykrywania pojedynczych drzew. Zaznacza, iż błędy segmentacji dotyczą zarówno metod opartych na rastrach, jak i tych, które wykorzystują chmurę punktów.

Przedstawione w opracowaniu wyniki, wskazują na potencjał integracji danych rastrowych z bezpośrednią informacją z chmury punktów z lotniczego skanowania laserowego. Autor trafnie zaznacza, iż dalsze prace powinny skupić się na uwzględnieniu cech i rodzaju analizowanej roślinności, jako że ich wpływ na dokładność segmentacji jest znaczący. Dla drzewostanów jednogatunkowych algorytm jest łatwiejszy do sparametryzowania, w przeciwieństwie do drzewostanów mieszanych. Aspekt zróżnicowania gatunkowego i wysokościowego drzewostanów jest szczególnie ważny w dalszym rozwoju metodyki z uwagi na zmieniające się warunki klimatyczne – zarządcy lasów coraz częściej rozkładają ryzyko prowadzenia gospodarki leśnej na zróżnicowanie gatunków, które są przystosowane do zmieniających się i coraz bardziej wymagających warunków leśnych.

Omówienie rozwiązywanego problemu naukowego

Autor jako główny problem realizowanych obecnie badań w zakresie detekcji pojedynczych drzew z użyciem danych z lotniczego skanowania laserowego wskazuje, iż pozwalają one na uzyskanie satysfakcjonujących wyników przede wszystkim w drzewostanach jednogatunkowych, z homogeniczną strukturą wysokościową. Zwraca uwagę na to, że błędy detekcji występują głównie w drzewostanach mieszanych, z dużą wariancją wysokości. W związku z tym, w celu zredukowania występowania tych błędów jako cel swej pracy wskazuje wykorzystanie rozkładu chmury punktów z lotniczego skanowania laserowego dla korekty błędów powstałych przy zastosowaniu metody detekcji pojedynczych drzew wykonanej na podstawie Wysokościowego Modelu Koron (WMK).

Doktorant definiuje następujące cele szczegółowe:

- 1) opracowanie autorskiej metody klasyfikacji, bazującej na algorytmach uczenia maszynowego, pozwalającej na wyodrębnienie poprawnych oraz błędnych segmentów w podziale na określone klasy (błąd nadsegmentacji i błąd podsegmentacji)

HIPOTEZA 1: Wykorzystanie w klasyfikacji statystycznych miar opisujących rozkład przestrzenny chmury punktów, pozwala na określanie wybranych błędów uzyskiwanych w wyniku segmentacji pojedynczych koron drzew (Publikacja I)

- 2) opracowanie autorskiej metody korekty błędnie sklasyfikowanych segmentów wraz z ich podziałem oraz agregacją z poprawnie zidentyfikowanymi drzewami

HIPOTEZA 2: Możliwe jest opracowanie automatycznej metody korekcji błędów umożliwiającej znaczącą poprawę wyników detekcji pojedynczych drzew (Publikacja II)

- 3) zbadanie wpływu metody korekcji na poprawę szacowania wybranych cech taksacyjnych

HIPOTEZA 3: Skorygowanie błędów detekcji pojedynczych drzew umożliwia dokładniejsze szacowanie parametrów drzewostanowych, takich jak zagęszczenie drzew i średnia wysokość drzewostanu (Publikacja III)

W publikacji I, Autor przedstawia możliwość identyfikacji poszczególnych błędów segmentacji, wraz z odróżnieniem ich od poprawnie zidentyfikowanych koron drzew. W tym celu stosuje metody uczenia maszynowego oraz zestaw wybranych zmiennych geometrycznych oraz strukturalnych i wartości intensywności z lotniczego skanowania laserowego. Publikacja II to wskazanie autorskiego algorytmu do korekcji błędów segmentacji wynikających z zastosowania metod detekcji pojedynczych drzew opartych o WMK. Autor klasyfikuje segmenty, poprawia segmenty wytypowane jako podsegmentacja oraz finalnie dokonuje połączenia segmentów z nadsegmentacji z poprawnymi segmentami. W publikacji III ocenia wpływ metody korekcji na szacowanie wybranych cech drzewostanowych.

Można stwierdzić spójne podejście Doktoranta do problemu badawczego, od ogólnego przeglądu literatury i metodyki w zakresie szacowania biometrycznych charakterystyk lasu, poprzez omówienie metod wykrywania pojedynczych drzew opierających się na danych ALS wraz z identyfikacją występujących błędów w tych procesach, aż do efektu finalnego w postaci wskazania rozwiązania umożliwiającego korekcję tych błędów.

Cele pracy zostały szczegółowo i prawidłowo zdefiniowane oraz usystematyzowane, wskazując najważniejsze aspekty realizowane w publikacjach I-III. Autor trafnie podsumowuje, iż opracowana metoda korekcji pozwala na poprawę błędów segmentacji, niezależnie od zastosowanego algorytmu segmentacji, typu lasu oraz grupy wysokościowej, co jest szczególnie ważne w zakresie stosowania metodyki w drzewostanach mieszanych. Wykorzystanie metody korekcji poprawiło jakość wyników uzyskiwanych przy zastosowaniu metod ITD w szacowaniu parametrów drzewostanowych, takich jak zagęszczenie drzew i średnia wysokość drzewostanu. Przeprowadzona praca wskazuje możliwość aplikacyjnego wykorzystania metody korekcji w implementacji algorytmów ITD w praktyce, dla detekcji pojedynczych drzew w inwentaryzacji obszarów leśnych czy zieleni miejskiej.

Podsumowując – Doktoranta pozytywnie wyróżnia umiejętność integrowania wiedzy (popartej studium literatury) z opanowaniem zaawansowanego warsztatu w zakresie stosowania technologii geoinformatycznych dla przeprowadzania analiz i właściwego wnioskowania. Zrealizowany i opisany w publikacjach zakres badań jest szeroki, zarówno pod względem merytorycznym (zaawansowane metody przetwarzania danych) jak i przestrzennym (obszar badań – skomplikowany ekosystem leśny). Doktorant wnosi zauważalny wkład w rozwój metod korekcji detekcji pojedynczych drzew z wykorzystaniem danych z lotniczego skanowania laserowego.

Uwagi szczegółowe

Jako uwagi szczegółowe recenzent wskazuje następujące zagadnienia i pytania w zakresie Autoreferatu:

- W **Streszczeniu** występują nieznaczne rozbieżności między wersją elektroniczną (PDF) rozprawy doktorskiej a tradycyjną – papierową (w streszczeniu PDF występują drobne błędy, które zostały skorygowane w wersji papierowej) oraz niejednolitość z zakresie stosowania skrótów – ... lotniczego skanowania laserowego (ALS) ... Wysokościowego Modelu Koron (WMK) ... metod detekcji pojedynczych drzew (ITD) ...
- W **Wykazie skrótów** występuje niejednolitość w zakresie stosowania – lub - oraz w zakresie wyjaśniania lub nie metod, algorytmów np. RF zostaje wyjaśnione a SVM nie.
- Brak wyjaśnienia we **Wprowadzeniu** wybranych metod, algorytmów, wskaźników np. Support Vector Machine, Mean-Shift, F-score.

- W podrozdziale **Obszar badawczy**: „Procentowy udział gatunków na powierzchniach iglastych i liściastych musiał wynosić co najmniej 90%, natomiast na powierzchniach mieszanych udział wymienionych gatunków nie mógł przekraczać 60%” – brak wyjaśnienia, dlaczego przyjęto takie wartości %.
- W podrozdziale **Metodyka**: „ $h \leq 25$ m; $25 \text{ m} < h \leq 35$ m; $h > 35$ m” – brak wyjaśnienia dlaczego takie przedziały wysokości; „MCWS 3×3 oraz MCWS 5×5 ” – brak wyjaśnienia skrótu MCWS oraz dlaczego takie rozmiary okna; „przeprowadzono 5-krotną walidację krzyżową, powtórzoną 20 razy” – brak wyjaśnienia dlaczego takie wartości przyjęto; brak odniesienia w tekście do Rycin 3a, 3f, 4d; niejednorodność numeracji w Rycinach: a,b...A,B...; podanie w tym rozdziale informacji w zakresie **Wyników** np. „Model charakteryzował się ogólną dokładnością i współczynnikiem Kappa na poziomie odpowiednio 97% i 0,94”.
- W rozdziale **Najważniejsze wyniki**: w opisie Ryciny 5 pojawia się informacja o zastosowaniu testu t-Tukeya – brak wyjaśnienia w Metodyce; Rycina 6 – brak opisu osi; Tabela 3 i 4 – brak odniesienia w tekście do tabel, bardzo długie tytuły tabel – opisy powinny być zawarte w treści rozdziałów, a tytuł tabeli w formie skróconej; w tabelach pojawiają się opisy w j. angielskim – np. Method, Group (powinny być w j. polskim).
- W Streszczeniu zostało wyszczególnione, iż klasyfikacja poszczególnych błędów segmentacji daje również możliwość wykrywania błędów poprzez uwzględnienie poszczególnych gatunków drzew – można ten aspekt szerzej omówić w **Podsumowaniu i Wnioskach**.
- W rozdziale **Możliwe kierunki dalszych badań** brakuje uzupełnienia w zakresie: „Wartym rozważenia jest pozyskanie dodatkowych cech...” – jakich?; „Dodatkowym rozwiązaniem mogłaby być integracja danych z lotniczego skanowania laserowego z danymi wielo- lub hiperspektralnymi” – czy są w literaturze takie opracowania?
- W pracy występują drobne błędy stylistyczne i interpunkcyjne: powtórzenia słów (np. głównie – str. 13; w celu, celem, celami – 16); rozsegmentyzowane, poprawna-segmentacja, nie-podsegmentacja itp. – można zastanowić się nad inną formą spolszczeń; „ R^2 ...wyniósł” (str. 37) – lepiej: Wartość współczynnika R^2 ...wynosiła; „poprawna-segmentacja mieszała się (str. 30) – unikać „mieszała się” itp.; nieprawidłowo stosowane przecinki (np. przecinek przed oraz); bezpośrednio sąsiadujące nawiasy () itp.

Konkluzja

Po analizie włączonego do Autoreferatu spójnego cyklu trzech publikacji, stwierdzam, że wkład Doktoranta do nauk związanych z szeroką pojętą geomatyką w leśnictwie, w szczególności z zakresie technologii przetwarzania danych teledetekcyjnych **jest znaczący**.

Przedstawiona rozprawa zawiera oryginalne rozwiązanie istotnego problemu korekcji detekcji pojedynczych drzew z wykorzystaniem danych z lotniczego skanowania laserowego, co wsparte jest gruntowną wiedzą i umiejętnościami z zakresu stosowania technologii geoinformatycznych.

Tym samym stwierdzam, iż recenzowana przeze mnie rozprawa doktorska **Pana mgr. Macieja Lisiewicza**, przygotowana pod opieką promotora – dr. hab. Krzysztofa Stereńczaka, prof. IBL oraz promotora pomocniczego – dr Agnieszki Kamińskiej **spełnia wszelkie warunki** określone w art. 13 Ustawy z dn. 14.03.2003 roku o stopniach i tytule naukowym oraz stopniach i tytule naukowym w zakresie sztuki (Dz. U. 2003 nr 65 poz. 595 z późniejszymi zmianami) **i rekomenduję** Radzie Naukowej Instytutu Badawczego Leśnictwa – **dopuszczenie jej do publicznej obrony**.



dr hab. inż. Marta Szostak, prof. URK