

dr hab. inż. Marta Szostak, prof. UR

Kraków, dn. 24 czerwca 2021 r.

Katedra Zarządzania Zasobami Leśnymi

Wydział Leśny

Uniwersytet Rolniczy im. H. Kołłątaja w Krakowie

al. 29 Listopada 46

31- 425 Kraków

Recenzja rozprawy doktorskiej

Pani mgr Anety Modzelewskiej

pt.

***Zastosowanie wieloczasowych lotniczych danych hiperspektralnych
w określaniu składu gatunkowego zróżnicowanych lasów strefy umiarkowanej***

wykonanej pod kierunkiem:

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

Instytut Badawczy Leśnictwa, Zakład Geomatyki

dr. Fabiana Fassnacha – promotor pomocniczy

Karlsruhe Institute of Technology, Institute of Geography and Geoecology

Podstawa oceny

Formalną podstawą sporządzenia recenzji jest pismo (numer RN-0000-739/2021) Sekretarza Rady Naukowej Instytutu Badawczego Leśnictwa, Pani prof. dr hab. Iwony Skrzecz, z dnia 05 maja 2021 roku. W niniejszym piśmie zostałam wskazana jako recenzent w przewodzie doktorskim Pani Anety Modzelewskiej pt. "*Zastosowanie wieloczasowych lotniczych danych hiperspektralnych w określaniu składu gatunkowego zróżnicowanych lasów strefy umiarkowanej*" na podstawie uchwały Rady Naukowej IBL z dnia 22 kwietnia 2021 r.

Wstęp

W nowoczesnym i zrównoważonym leśnictwie, zarządzaniu środowiskiem przyrodniczym czy ochronie przyrody, zasobów naturalnych i krajobrazu coraz częściej stosowane są technologie teledetekcyjne. Współczesne leśnictwo doskonali metody pozyskiwania danych przestrzennych, sięgając po nowoczesne techniki geoinformatyczne dla prowadzenia gospodarki leśnej i posiadania coraz dokładniejszych informacji o stanie lasu. Technologie geomatyczne, a szczególnie teledetekcyjne, stanowią niezaprzeczalne i bardzo ważne źródło danych o obszarach leśnych, umożliwiając uzyskanie precyzyjnych i obiektywnych informacji w wybranym okresie czasowym.

Dla opisu ekosystemu leśnego kluczowe są informacje o składzie gatunkowym. Pozyskanie tych informacji na podstawie badań terenowych jest obciążone wysokimi kosztami, a dla większych obszarów jest zadaniem czasochłonnym. W tym zakresie wskazane jest zastosowanie danych teledetekcyjnych i właśnie to zagadnienie stanowi podstawowy obszar zainteresowań badawczych Doktorantki, przedstawionych w Autoreferacie i załączonych artykułach naukowych.

Struktura rozprawy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska Pani mgr Anety Modzelewskiej została przygotowana w formie zbioru trzech artykułów naukowych, opublikowanych w latach: 2017, 2020 oraz 2021.

Cykl artykułów stanowią:

I. Martyna Wietecha, Aneta Modzelewska, Krzysztof Stereńczak, 2017. Wykorzystanie lotniczej teledetekcji hiperspektralnej w klasyfikacji gatunkowej lasów strefy umiarkowanej, Sylwan 161(1), DOI: 10.26202/sylwan.201610; 15 pkt. MEiN; IF: 0,62.

II. Aneta Modzelewska, Fabian Ewald Fassnacht, Krzysztof Stereńczak, 2020. Tree species identification within an extensive forest area with diverse management regimes using airborne hyperspectral data, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 84, DOI: 10.1016/j.jag.2019.101960; 140 pkt. MEiN; IF: 4,65.

III. Aneta Modzelewska, Agnieszka Kamińska, Fabian Ewald Fassnacht, Krzysztof Stereńczak, 2021. Multitemporal hyperspectral tree species classification in the Białowieża Forest World Heritage site, *Forestry: An International Journal of Forest Research*, cpa048, DOI: 10.1093/forestry/cpa048; 140 pkt. MEiN; IF: 2,29.

W pierwszej pracy Doktorantka jest drugim autorem, z zadeklarowanym udziałem procentowym o wartości 45% (pozostali autorzy: pierwszy – 45%, trzeci – 10%). W kolejnych dwóch artykułach jest pierwszym autorem z udziałem wynoszącym odpowiednio 90% (pozostali dwaj autorzy – udział 5%) oraz 75% (pozostali autorzy udziały kolejno: 15%, 5% i 5%).

Cel naukowy rozprawy, hipotezy, materiały i metody badawcze oraz wyniki i wnioski płynące z prowadzonych badań zostały zaprezentowane w formie Autoreferatu z załączonymi kolejno artykułami naukowymi, wchodzącymi w skład spójnego tematycznie zbioru. Streszczenie rozprawy doktorskiej przedstawione zostało w języku polskim i angielskim. Oświadczenia współautorów artykułów naukowych załączono do Autoreferatu, wskazując wkład procentowy autorów wraz z wyszczególnieniem wykonanych prac. Dla artykułów anglojęzycznych oświadczenie przygotowano łącznie w wersji polskiej i angielskiej.

Charakterystyka i znaczenie rozprawy

Przedłożona do oceny rozprawa doktorska Pani mgr Anety Modzelewskiej składa się z 40 stronicowego Autoreferatu, do którego dołączono kopie trzech prac naukowych, wchodzące w skład spójnego tematycznie zbioru, wraz z oświadczeniami o procentowym wkładzie autorów w opracowanie poszczególnych artykułów.

Opracowanie stanowią trzy publikacje, które ukazały się w renomowanych czasopismach naukowych: *Sylwan* (15 pkt. MEiN; IF 0,62), *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* (140 pkt. MEiN; IF: 4,65) oraz *Forestry: An International Journal of Forest Research* (140 pkt. MEiN; IF: 2,29). Łączny Impact Factor to 7,56 a suma punktów MEiN: 295.

Doktorantka ma w/w pracach znaczący udział. W pierwszym artykule główny zakres prac polegał na przeglądzie literatury i analizie obecnego stanu wiedzy w temacie badań, co zaowocowało opracowaniem kolejnych opracowań, w których autorka wykazała się

we współpracy ze współautorami: opracowaniem koncepcji prac, zaprojektowaniem metodyki, przygotowaniem i przetworzeniem danych oraz opracowaniem uzyskanych wyników. W każdej z prac Doktorantka brała udział w przygotowaniu, we współpracy ze współautorami, oryginalnej wersji artykułu i korekty na podstawie otrzymanych recenzji.

Wskazane udziały w poszczególnych pracach, świadczą o opanowaniu przez Panią mgr Anety Modzelewską warsztatu badawczego – od zbierania danych, poprzez ich przetworzenie, aż po końcowe opracowanie.

Zagadnienia wskazane w Autoreferacie pokrywają się z tematyką poruszaną w publikacjach, stanowiących spójny cykl, począwszy od rozpoznania tematu badań i literatury (publikacja I), poprzez wykonanie właściwych analiz (publikacja II) oraz ostateczne ich uszczegółowienie (publikacja III).

Wstęp Autoreferatu to kompletne i wyczerpujące wprowadzenie czytelnika do tematyki określania składu gatunkowego w oparciu o materiały teledetekcyjne (zdjęcia lotnicze i satelitarne) w odniesieniu do ujęcia tradycyjnego (na podstawie badań terenowych). Autorka wskazuje na występujący w ostatnich latach znaczący rozwój teledetekcyjnych metod klasyfikacji gatunków drzew oraz nakreśla zasadność stosowania materiałów teledetekcyjnych w nowoczesnym, zrównoważonym leśnictwie dla uchwycenia aktualnego stanu analizowanego obszaru oraz dynamiki zachodzących procesów, z zastosowaniem danych wieloczasowych. Jest to szczególnie istotne w lasach, które podlegają nieustannym przemianom, zwłaszcza z uwagi na obserwowane w ostatnich latach zjawisko globalnych zmian klimatu.

Doktorantka omawia tematykę rozwoju teledetekcyjnych metod klasyfikacji gatunków drzew, w szczególności wskazując możliwości i zasady wykorzystania danych hiperspektralnych. Autorka zamieszcza szerokie omówienie (w oparciu o literaturę światową) zasad wykonywania procesu klasyfikacji danych hiperspektralnych, począwszy od wyboru odpowiedniej rozdzielczości i terminu pozyskania danych, poprzez ich wstępne przetworzenia, w tym korekcje i redukcję wymiarowości danych, aż po efektywny algorytm klasyfikacji.

Jako czynnik wpływający na wynik klasyfikacji Autorka wskazuje termin pozyskania danych – zaznacza, że zmiany fenologiczne mają znaczenie z punktu widzenia rozróżnialności poszczególnych gatunków od siebie. Nadmienia, że zagadnienie jest rzadko poruszane w literaturze, z uwagi na wysoki koszt pozyskania wieloczasowych danych hiperspektralnych. Większość dotychczasowych badań w tym zakresie ma charakter eksperymentalny i często lokalny zasięg. Doktorantka stwierdza, iż dotychczas nie są znane badania nad klasyfikacją gatunkową drzew na rozległych i zróżnicowanych obszarach leśnych, więc pojawia się zasadność prowadzenia takich badań i odpowiedzi na pytanie, czy lokalnie działające algorytmy będą równie skuteczne dla większego obszaru.

Autorka stawia następujące pytania: czy dla różnie zarządzanych obszarów możemy spodziewać się istotnych różnic w liczbie klasyfikowanych gatunków drzew i w uzyskiwanych dokładnościach oraz czy obiecujące wyniki otrzymamy, gdy badaniami zostanie objęty rozległy i skomplikowany obszar o złożonej strukturze gatunkowej? Formułuje także zagadnienie jaki termin jest najodpowiedniejszy do pozyskania danych oraz czy zastosowanie połączonego zestawu danych pozyskanych w różnych porach roku skutkuje znacząco lepszym wynikiem klasyfikacji?

W zakresie zdefiniowanych pytań Autorka podejmuje się oceny efektywności klasyfikacji gatunków w oparciu o dane hiperspektralne dla obszaru Puszczy Białowieskiej – rozległego kompleksu leśnego, jednego z najbardziej zróżnicowanych w Europie pod względem struktury lasu, składu gatunkowego, wieku drzewostanów, a także zarządzania. Można zatem podsumować, iż tematyka przedstawionej do oceny rozprawy stanowi ważny i aktualny aspekt badań w zakresie stosowania technologii geoinformatycznych i danych teledetekcyjnych w nowoczesnym i zrównoważonym leśnictwie oraz ochronie przyrody.

Omówienie rozwiązywanego problemu naukowego

Autorka jako główny cel rozprawy formułuje ocenę możliwości zastosowania wieloczasowych lotniczych danych hiperspektralnych w określaniu składu gatunkowego drzewostanu w lasach o zróżnicowanej strukturze gatunkowej i różnorodnej strategii zarządzania i ochrony, zlokalizowanych w strefie klimatów umiarkowanych półkuli północnej, jednak wskazane przez Autorkę cele szczegółowe (realizowane w poszczególnych

publikacjach) wskazują, iż dane wieloczasowe są wykorzystywane w Publikacji III, natomiast w Publikacjach I i II problematyka dotyczy ogólnie zastosowania lotniczej teledetekcji hiperspektralnej w klasyfikacji gatunkowej. Można zatem zdefiniować cel główny bardziej ogólnie, nie ograniczając go do analizy danych wieloczasowych.

Cele szczegółowe zostały prawidłowo zdefiniowane i usystematyzowane, wskazując najważniejsze aspekty realizowane w publikacjach I-III. Widać spójne podejście do problemu badawczego, od ogólnego przeglądu literatury i metodyki w zakresie zastosowania danych hiperspektralnych (Publikacja I), poprzez określenie jak poszczególne sposoby zarządzania obszarami leśnymi wpływają na możliwość wyróżnienia składu gatunkowego (Publikacja II), aż do efektu finalnego w postaci wskazania, który termin spośród trzech: wczesne lato, późne lato, jesień jest optymalnym terminem do pozyskania obrazów celem klasyfikacji gatunkowej drzew (Publikacja III) oraz odpowiedzi na pytanie, czy zastosowanie połączonych danych wieloczasowych daje lepsze wyniki, niż zastosowanie jednego, optymalnego zestawu danych? W publikacji III uzupełniono badania o analizę, czy poszczególne cechy biometryczne drzew (wysokość i powierzchnia korony) wpływają na wynik klasyfikacji gatunków.

Wnioski z przeglądu literatury i analizy stanu istniejącej wiedzy na temat klasyfikacji gatunkowej (Publikacja I) Autorka prawidłowo wykorzystwała przy projektowaniu metodyki kolejnych prac. W końcowym fragmencie Autoreferatu (rozdział Wnioski) Autorka stwierdza, że lotnicze obrazy hiperspektralne można zastosować do klasyfikacji gatunków drzew – najwyższe wyniki klasyfikacji osiągnęto przy zastosowaniu algorytmów nieparametrycznych. Należałoby zaznaczyć, czy wniosek ten wypływa z realizowanych przez Doktorantkę badań, czy z przeglądu literatury?

W Publikacji II Doktorantka wskazuje możliwości wyodrębnienia składu gatunkowego z wykorzystaniem lotniczych obrazów hiperspektralnych pozyskanych dla polskiej części Puszczy Białowieskiej. Finalnym i cennym efektem pracy jest mapa dominujących gatunków drzew dla tak rozległego i zróżnicowanego obszaru leśnego. Doktorantka określiła, jak poszczególne formy zagospodarowania: gospodarka leśna, ochrona ścisła, ochrona częściowa wpływają na możliwość wyróżnienia składu gatunkowego za pomocą danych hiperspektralnych. Wskazała, że dokładność wyników klasyfikacji nie jest taka sama dla terenów objętych ochroną i lasów gospodarczych, co jak wskazuje wynika

z większej różnorodności gatunkowej i bardziej złożonej struktury lasów na terenach chronionych (wynik klasyfikacji gorszy o 13% w stosunku do lasów gospodarczych). Jest to ważny wniosek w zakresie wdrażania stosowania technologii w praktyce leśnej. Doktorantka stwierdza, iż zgodność wielkości powierzchni pokrytej przez korony drzew poszczególnych gatunków na podstawie klasyfikacji danych hiperspektralnych z wartościami referencyjnymi (brakuje w Autoreferacie informacji w zakresie metodyki porównania – w publikacji jest wyjaśnione) była wysoka. W odniesieniu do tego stwierdzenia w Autoreferacie nie wskazano jakie wartości parametrów dokładnościowych (współczynnik OA oraz Kappa) możemy uznać za wysokie (w odniesieniu do literatury).

W zakresie Autoreferatu dotyczącym zagadnień Publikacji III, w oparciu o informacje wynikające z przeglądu literatury, Doktorantka mogła uzupełnić klasyfikację gatunkową o jeszcze jedną wersję testową, czyli wykorzystanie dwóch zestawów danych – wczesno i późno letnich, z pominięciem zestawu jesiennego. Jak wynika z literatury wskazanej przez Autorkę oraz analizując wyniki, przedstawione w rozprawie w zakresie klasyfikacji poszczególnych zestawów danych hiperspektralnych zauważamy, iż klasyfikacja w oparciu o dane jesienne daje gorsze rezultaty, więc może warto dokonać testu połączenia zestawów wczesno i późno letniego, z pominięciem danych jesiennych.

Ważnym wnioskiem w zakresie możliwości wdrożenia metodyki do praktyki leśnej jest świadomość, że cechy biometryczne drzew min. wysokość drzewa i powierzchnia korony mają wpływ na wynik klasyfikacji – mniejsza powierzchnia korony oraz niższa wysokość drzewa może skutkować błędnym sklasyfikowaniem go.

Podsumowując Autorka trafnie stwierdza, iż badania nad implementacją teledetekcji hiperspektralnej do określania składu gatunkowego lasów mają jeden główny cel – operacyjne wykorzystanie tych technik w gospodarce leśnej i zarządzaniu obszarami chronionymi. Doktorantka właściwie formułuje możliwości dalszych badań w zakresie wykorzystania informacji spektralnej i danych o geometrii obiektu np. z zastosowaniem technologii ALS (Airborne Laser Scanning) – integracja ta może być kluczowa dla klasyfikacji wybranych gatunków drzew. Ważne jest także zauważenie przez Doktorantkę możliwości aplikacji danych satelitarnych, co pozwoli na dostęp do danych dla większych powierzchni w ciągłym trybie czasowym.

Uwagi szczegółowe

Wszystkie przedłożone jako spójny cykl prace przeszły przez wymagające etapy recenzji czasopism naukowych, stąd recenzent nie będzie się odnosił do ich treści pod kątem merytorycznym i edycyjnym, a jedynie wyrazi swą główną opinię na temat przedłożonego Autoreferatu, stanowiącego integralną część rozprawy doktorskiej.

Zrealizowany i opisany w publikacjach zakres badań jest obszerny, zarówno pod względem merytorycznym (kilka wątków badawczych, zaawansowane metody przetwarzania danych) jak i przestrzennym (duży i unikalny obszar analiz).

Doktorantka wniosła zauważalny wkład w rozwój metod klasyfikacji gatunkowej lasu w oparciu o technologie teledetekcyjne. To co szczególnie i pozytywnie wyróżnia Doktorantkę to umiejętność integrowania wiedzy, popartej gruntownym studium literatury, z opanowaniem zaawansowanych technologii geoinformatycznych dla przeprowadzania analiz i właściwego wnioskowania.

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

- Pomiar (instrument) GPS proponuje zastąpić szerszym pojęciem GNSS – w Publikacji II jest poprawnie „...global navigation satellite systems...”
- Uszczegółowienie informacji w zakresie danych terenowych – ile wybrano drzew reprezentujących dominujące na danym obszarze gatunki, używanych jako wzorce oraz do weryfikacji klasyfikacji – wskazano, iż 70% wybranych drzew stanowił zbiór treningowy i 30% – zbiór testowy, ale warto podać w Autoreferacie jaka to była liczba (w Publikacji II są podane te wartości).
- W metodyce w zakresie Ryciny 1 można uzupełnić wyjaśnienie stosowanych skrótów min. wskaźnika roślinności $mNDVI_{705}$ oraz MFN. Te wyjaśnienia pojawiają się w kolejnych podrozdziałach, korzystniejsze byłoby wyjaśnienie przy Rycinie 1.
- W zakresie materiałów pomocniczych dla wyboru drzew warto uzupełnić informacje w zakresie metodyki przygotowania NMT, NMPT oraz Wysokościowego Modelu Koron na podstawie danych ALS (algorytmy)

a także informacje (charakterystyka) w zakresie pozyskania wysokorozdzielczych zdjęć lotniczych CIR.

- Dla określenia zależności cech biometrycznych drzew a poprawności klasyfikacji wybierano drzewa pod kątem wysokości i powierzchni korony, na podstawie detekcji pojedynczych drzew na bazie danych ALS – warto wskazać stosowany algorytm detekcji pojedynczych drzew.
- Na Rycinie 3 udziały gatunków drzew powinny zostać podane z wartościami ułamkowymi, dla pełniejszej oceny różnic w zakresie wyniku klasyfikacji odniesionego do danych referencyjnych.

Konkluzja

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

Przedstawiona rozprawa zawiera oryginalne rozwiązanie istotnego problemu zastosowania wieloczasowych lotniczych danych hiperspektralnych w określaniu składu gatunkowego zróżnicowanych lasów strefy umiarkowanej, co wsparte jest gruntowną wiedzą i umiejętnościami z zakresu technologii geoinformatycznych.

Tym samym stwierdzam, iż recenzowana przeze mnie rozprawa doktorska **Pani mgr Anety Modzelewskiej**, przygotowana pod opieką promotora – **dr. hab. Krzysztofa Stereńczaka, prof. IBL** oraz promotora pomocniczego – **dr. Fabiana Fassnachta** 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. UR