

Prof. dr hab. inż. Beata Hejmanowska
Katedra Fotogrametrii Teledetekcji Środowiska i Inżynierii przestrzennej
Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska
Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie
al. Mickiewicza 30
30-059 Krakow
tel. +4812 6173826
kom. +48 605061510
URL: http://home.agh.edu.pl/~galia/index_en.html

**Recenzja rozprawy doktorskiej magistra Tomasza Hyczy pt.
Metoda delimitacji obszarów leśnych z wykorzystaniem
danych lotniczego skanowania laserowego i zobrażeń
hiperspektralnych**

Podstawa recenzji

Podstawą przygotowania recenzji była uchwała Rady Naukowej IBL z dnia 29 września 2022 r. Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr Tomasza Hyczy pt.: **Metoda delimitacji obszarów leśnych z wykorzystaniem danych lotniczego skanowania laserowego i zobrażeń hiperspektralnych**, przygotowana pod opieką naukową dr hab. Krzysztofa Stereńczaka, prof. IBL Instytut Badawczy Leśnictwa, Zakład Geomatyki.

Recenzję opracowano zgodnie z następującymi przepisami:

- Ustawa z dnia 20 lipca 2018 roku - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2018 poz. 1668 z późn. zm.)
- Ustawa z dnia 3 lipca 2018 roku - Przepisy wprowadzające ustawę - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018, poz. 1669.);
- Ustawia z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (t.j. Dz. U. 2017, poz. 1789).

Recenzja składa się ze wstępu, oceny merytorycznej i formalnej oraz podsumowania. W ocenie merytorycznej, w pierwszej części odnoszę się do autoreferatu, a w drugiej do poszczególnych publikacji.

Wstęp

Przedstawiono do oceny manuskrypt, składający się z 124 stron, który zawiera:

- streszczenie w języku polskim na 2 stronach,
- streszczenie w języku angielskim na 2 stronach
- słowniczek skrótów – 1 strona
- wstęp – 6 stron
- cel i zakres pracy – 1 strona
- hipotezy badawcze – 1 strona
- metodyka – 7 stron
- najważniejsze wyniki – 8 stron
- wnioski – 1 strona
- dalsze kierunki badań – 2 strony
- spis tabel, rycin, literatury - 9 stron (75 pozycji, w większości brak odniesień w tekście autoreferatu)
- 4 publikacje:

1. Hycza T., Kamińska A., Stereńczak K. 2021. The use of remote sensing data to estimate land area with forest vegetation cover in the context of selected forest definitions. *Forests* 12(11): 1489, 10.3390/f12111489 (100 pkt)

2. Hycza T., Kupidura P. 2021 Methods for separating orchards from forest using airborne LiDAR. *Annals of Forest Science* 78: 101, 10.1007/s13595-021-01116-6 (140 pkt)

3. Hycza T., Stereńczak K., Bałazy R. 2018. Potential use of hyperspectral data to classify forest tree species. *New Zealand Journal of Forestry Science* 48, 1186/s40490-018-0123-9 (70 pkt)

4. Hycza T., Lisiewicz M., Waraksa P., Stereńczak K. 2022 Classification of “potential” forests. *Sylvan*, 166(3): 194-210, <https://doi.org/10.26202/sylvan.2022011> (70 pkt)

Ocena merytoryczna i formalna treści pracy

Z formalnego punktu widzenia rozprawa spełnia wymagania ustawowe.

Rozprawę doktorską stanowi bowiem w tym przypadku zbiór 4 opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych, co jest zgodne z Art. 187 punkt 3 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2018 poz. 1668 z późn. zm.).

Udział doktoranta we wszystkich publikacjach wynosi ponad 50%, co zostało potwierdzone załączonymi oświadczeniami współautorów. Autor we wszystkich publikacjach definiuje swój udział jako: *przeegląd literatury, zaplanowanie badań, analiza danych, przygotowanie artykułu*, w 3 i 4 dodatkowo: *pozyskanie danych terenowych*. W żadnym przypadku nie występuje pozycja: *wykonanie badań*, chyba, że Autor utożsamia z tym *analizę danych*. Moim zdaniem wykonanie badań jest czymś więcej niż analiza danych, proszę Autora o uszczegółowienie w tym zakresie.

Publikacje zostały poprzedzone 42 stronicowym opracowaniem stanowiącym podsumowanie badań opublikowanych w ww. 4 publikacjach. Opracowanie to zawiera 10 rozdziałów: wstęp, hipotezy badawcze, metodyka, najważniejsze wyniki, wnioski, dalsze kierunki badań, spis tabel, spis rycin, spis literatury, lista załączników.

W pierwszej części recenzji odnoszę się do tego opracowania.

Ocena opracowania stanowiącego syntetyczne omówienie problematyki badawczej będącej przedmiotem 4 artykułów

We wstępie Autor poprawnie, w przejrzysty sposób, przedstawił problematykę badawczą, zaczynając o definicji przedmiotu badań, poprzez dyskusję różnych podejść do klasyfikacji pokrycia terenu jako *las*, aż do syntetycznego omówienia metod teledetekcyjnych wykorzystywanych na potrzeby inwentaryzacji obszarów leśnych. Cel i zakres pracy zostały również jasno przedstawione i zaadresowane do poszczególnych artykułów. Sprawę ułatwiał fakt, że artykuły są rzeczywiście spójne tematycznie ale również, spójne w sensie czasowym i ilustrują rozwój badań prowadzonych na potrzeby rozprawy doktorskiej.

Natomiast hipoteza/hipotezy badawcze są sformułowane zbyt miękko, tzn. ich potwierdzenie właściwie nie wymaga badań. Brak jest wskazania potrzeb, luk w istniejących podejściach, zidentyfikowanych w oparciu o state-of-the art, które powinny być podstawą definiowania hipotezy badawczej.

Obszary badawcze oraz dane zostały bardzo dobrze opisane, szczególnie plus za syntetyczną, zbiorczą *Tabele 3. Dane wykorzystywane w poszczególnych artykułach*, znacznie ułatwiająca czytelnikowi dalsze studiowanie autoreferatu.

Metodyka obejmuje opis etapów analizy danych i jest opisana wyjątkowo dobrze, w rzadko spotykany sposób, bardzo jasno i przejrzysto, w szczególności podoba mi się *Ryc. 2. Schemat analiz*. W dalszych podrozdziałach, odpowiadających poszczególnym publikacjom, metodyka została szczegółowo opisana.

Należy jednak zauważyć, że metodyka badawcza to nie tylko opis wykonanych etapów, użytych algorytmów/wskaźników ale także np. procedura pozyskania danych referencyjnych i ich podziału na zbiory treningowe i uczące oraz sposób wykonania analizy dokładności. Te części w metodyce są bardzo ważne, ponieważ one wpływają na ostateczną ocenę wiarygodności/dokładności analizowanych podejść. Niestety w autoreferacie brak tych informacji. W związku z tym *rozdział 5. Najważniejsze wyniki*, poza tym, że jest niespójny, jest również trudny do oceny.

Zagadnienie to wymaga szerszego omówienia.
Autor w słowniku pojęć definiuje:

- MAE - Średni Błąd Całkowity,
- MBE - Średniego Błędu Systematycznego.

Abstrahując że, nie ma wersji angielskiej (inaczej niż w innych pozycjach), błędne jest tłumaczenie na język polski, nie powinno być wielką literą, to jeszcze wprowadza zamieszanie ponieważ np. pojęcie błędu całkowitego oznacza merytorycznie coś innego. Żeby nie powoływać się na jakieś specjalistyczne definicje statystyczne, czy branżowe można podać w jakim znaczeniu używa pojęcia [błąd całkowity Główny Urząd Statystyczny](#): *suma błędu losowego i błędu systematycznego jakimi obarczony jest wynik badania statystycznego*. Natomiast MAE – Mean Absolute Error oznacza średnie odchylenie/odchyłkę bezwzględną (czasem też tłumaczone jako odchylenie przeciętne). Ważne jest, że średnia jest liczona z wartości bezwzględnych odchyłek i jest zawsze dodatnia. Podczas gdy MBE – Mean Bias Error, czasem po prostu ME – Mean Error, średnia odchyłka jest liczona z wartości odchyłek, a nie bezwzględnych wartości odchyłek i dla odchyłek liczonych od średniej wynosi zawsze zero. W przypadku obliczeń z wykorzystaniem wartości referencyjnych wartość ta oznacza błąd systematyczny i może przyjmować wartości dodatnie i ujemne. W Polsce z reguły nie używa się tłumaczenia ME, jako błąd średni, z uwagi na możliwość mylnego rozumienia jako błąd średni kwadratowy (RMSE).

Drugie zagadnienie to wybór zestawu uczącego i testowego (rozdział 4). Autor podaje, np., że wykorzystał 260 pikseli treningowych i 300 testowych (publikacja 3). Pytanie jak one zostały wybrane? Piksele położone blisko siebie są ze sobą skorelowane co powoduje zawyżanie dokładności. W publikacji 3 wykorzystano 130 pikseli treningowych i 120 punktów testowych. Co oznacza słowo: *punktowych*?

W rozdziale 5 Autor pisze o 270 powierzchniach testowych, z których 181 lub 189 stanowiło roślinność drzewiastą zgodnie z definicjami FAO/UNFCCC. Dalej Autor podaje: „Najwyższą **dokładność** uzyskano dla klasyfikacji Metodą 2 - 97% (Współczynnik Kappa >0,94). Dokładność całkowita klasyfikacji metodą 2 i 3 obliczona dla 30 powierzchni testowych wynosiła tyle samo w przypadku obydwu definicji. Metoda 1 okazała się być najmniej dokładna (**dokładność całkowita** – 83-93%, Współczynnik Kappa – 38-79%)”. Czy „dokładność” oznacza „dokładność całkowitą” klasyfikacji, równą OA (*overall accuracy*)?

W dalszej kolejności znajdują się inne metryki RMSE i MAE, co sugeruje analizę regresji. Ostatecznie Tabela 4 jest niejasna.

Następnie zaprezentowane zostały wyniki badań nad klasyfikacją sadów. Klasyfikację wykonano metodą obiektową, można zatem domyślać się i analiza dokładności dotyczy obiektów, z tym że w tym przypadku Autor podaje jako metrykę współczynnik kappa.

W końcowej części rozdziału znajduje się opis wyników klasyfikacji obrazów hiperspektralnych. Przed prezentacją wyników znajduje się zdanie, które powinno być podane w metodyce. „Do klasyfikacji wykorzystano pierwszych 19 zakresów zobrazowania po transformacji MNF, 15 najważniejszych zmiennych chmury punktów z lotniczego skanowania laserowego i algorytm SVM” wraz z niejasną informacją o 15 najważniejszych zmiennych chmury punktów z lotniczego skanowania laserowego. W tej części znajdują się wyniki analizy dokładności rozpoznania gatunków oraz klasyfikacji obszarów leśnych, potencjalnie leśnych i nieleśnych. Z Rys. 4 wynika, że najwyższą dokładność uzyskano w klasyfikacji 2 gatunków (jakie to były gatunki?) i wyniosła tyle samo, wykorzystując oba źródła danych (obrazy hiperspektralne i ze skaningu laserowego) ok. 95%. Zaskakująco niską dokładność uzyskano w klasyfikacji 10 gatunków z wykorzystaniem obrazów hiperspektralnych: 67,3%. Szkoda, że w autoreferacie nie zamieszczono żadnego komentarza na ten temat. Jeśli chodzi natomiast o zadanie polegające na wydzieleniu obszarów leśnych i nieleśnych dokładność w przypadku obu danych dokładność wyniosła ok. 90%.

Rozdział 6 obejmuje wnioski, które w większości stanowią powtórzenie hipotez badawczych uzupełnione o „miękkie” stwierdzenia np. „Dokładność detekcji różniła się w zależności od definicji co związane było z wykorzystaną metodą i wielkością powierzchni analizy”.

Właściwie jedyny „twardy wniosek” sformułowano w punkcie 6:

„Z praktycznego punktu widzenia, w proponowanej metodzie możliwe jest wykorzystanie wyłącznie danych lotniczego skanowania laserowego, bez potrzeby zakupu dodatkowo danych hiperspektralnych. Dane ALS umożliwiają określenie parametrów geometrycznych (powierzchnia i wysokość) oraz pozwalają na klasyfikację gatunkową. Jest to możliwe gdyż standardowym produktem dostępnym na rynku jest chmura punktów z informacją CIR, co może zostać wykorzystane dodatkowo w analizie statystyk określonych dla chmury punktów”.

Rozdział 7 zawiera przewidywania i propozycje Autora dotyczące dalszych kierunków badań. Słusznie, według mnie, podkreślone są możliwości wykorzystania wysokorozdzielczych obrazów satelitarnych, w szczególności biorąc pod uwagę „chmury” satelitów wysyłanych obecnie w przestrzeń kosmiczną. Autor również omawia różne problemy związane ogólnie z wykorzystaniem teledetekcji w wydzieleniu obszarów leśnych. Na koniec wyraża opinię, że należy: „dążyć do opracowania uniwersalnej metodyki szacowania powierzchni gruntów leśnych, możliwej do zastosowania niezależnie od przyjętej definicji lasu, w której możliwe byłoby uwzględnienie (lub nieuwzględnienie) dowolnej liczby mierzalnych i jednoznacznych kryteriów ilościowych lub jakościowych. Umożliwiłoby to udoskonalenie i automatyzację procesu raportowania powierzchni gruntów leśnych do organizacji międzynarodowych, rzetelne porównywanie wyników inwentaryzacji oraz równe i sprawiedliwe traktowanie wszystkich krajów zobowiązanych do raportowania”, z czym nie sposób się nie zgodzić.

W dalszej części dokumentacji znajdują się kopie 4 artykułów, które zawierają szczegółowy opis przeprowadzonych badań i uzyskanych wyników. Wszystkie artykuły były recenzowane i zostały opublikowane. Przeczytałam je próbując znaleźć odpowiedź na pytania, które pojawiły się w trakcie czytania autoreferatu. Moje pytania dotyczyły metodyki przetwarzania danych teledetekcyjnych i oceny dokładności uzyskanych produktów. Nie jestem specjalistą w zakresie leśnictwa, w związku z tym nie odnoszę się do zagadnień metodycznych w tym zakresie.

Artykuł 1 (2021) dotyczy wykorzystania danych teledetekcyjnych do szacowania powierzchni gruntów z leśną pokrywą roślinną w kontekście wybranych definicji lasu. W badaniach wykorzystano dane lidarowe (ALS). W rozdziałach 2.3 i 2.4 przedstawiona została metodyka. O ile rozdział 2.3 przedstawia w sposób zrozumiały ogólny schemat badań, o tyle opis trzech metod procentowego pokrycia powierzchni koronami drzew jest dla mnie niewystarczająco jasny, w szczególności Metoda 2 i 3. Co podlega segmentacji w Metodzie 2 (danymi wejściowymi ALS są punkty, chmura punktów)? W metodzie 3 wykorzystano tylko „*the pixels representing forest vegetation with a height of at least 5 m on Canopy Height Model*”. Co to oznacza (być może jest to jasne dla specjalistów z obszaru leśnictwa)? Prosiłabym Autora o wyjaśnienie tego zagadnienia w trakcie obrony. Również niejasny jest opis wykorzystania danych referencyjnych w rozdziale 2.5. Z załączników można się domyślać, że celem była analiza regresji, czy wszystkie dane referencyjne były użyte w analizie regresji? W podsumowaniu tego artykułu należy zwrócić uwagę, za Autorami, że nie ma jak dotąd publikacji, w której porównywano by te 3 metody określania powierzchni gruntów z leśną pokrywąw szczególności z wykorzystaniem danych ALS.

Artykuł 2 (2021) przedstawia metody rozróżniania sadów od lasów z wykorzystaniem lotniczego LiDAR-u. Badano dwie metody: analizy wzorca „*pattern analysis*” i analizy granulometrycznej. Wykorzystano dane ze skaningu laserowego, Bank Danych o Lasach i warstwę działek ewidencyjnych.

Artykuł jest bardzo ciekawy, schemat analizy (Fig. 3 jasny) ale z mojego punktu widzenia w sposób niewystarczająco przejrzysty przedstawiona została metodyka wstępnej selekcji, klasyfikacji oraz analizy dokładności. Przykładowo w tabeli (Tab.2) zaznaczono wybrane zestawy do klasyfikacji zgodnie z progiem dla różnic - 30, ale w tej tabeli są pozycje niewybrane chociaż przekraczają ten próg. Niejasny jest wybór 3 poligonów testowych, dla których wyniki przedstawiono w tabeli (Table 4).

Sumaryczne wyniki znajdują się w tabelach (Table 5 i 6), z których wynika, że maksymalną dokładność (90.4%) uzyskano w przypadku analizy granulometrycznej wykorzystując dane wektorowe (BDL/LPIS), a wykorzystując w zamian segmentację, maksymalnie tylko 80.2%. Uwaga techniczna zamiast *omission* i *commision*, co oznacza błąd, powinna być dokładność: producenta i użytkownika.

Mimo powyższych niejasności należy zgodzić się z Autorami, którzy w konkluzji stwierdzili, że: „*granulometria okazała się użytecznym narzędziem w klasyfikacji sadów i innych obszarów z roślinnością leśną. Metody oparte na granulometrii dały lepsze wyniki niż analiza wzorców. Analiza oparta o Bank Danych o*

Lasach/działki ewidencyjne dała lepsze wyniki niż analiza oparta na poligonach segmentacyjnych”.

Artykuł 3 (2018) przedstawia potencjalne możliwości wykorzystania danych hiperspektralnych do klasyfikacji gatunków drzew leśnych. W artykule Autorzy wykorzystali obrazy hiperspektralne i tradycyjne metody klasyfikacji pikselowej dostępne w komercyjnym oprogramowaniu ENVI. Maksymalną dokładność (90.7%) uzyskali wykorzystując algorytm: *maximum likelihood* z wykorzystaniem pierwszych siedmiu kanałów uzyskanych metodą MNF (*minimum noise fraction*). Zastrzeżenie może budzić podział zbioru referencyjnego jak poniżej:

„*The pixels of each class within each plot were randomly divided into training and validation data sets*”, ponieważ uzyskane w ten sposób dane są ze sobą skorelowane, co powoduje zwykle zawyżanie dokładności.

Artykuł 4 (2022) Klasyfikacja lasów "potencjalnych" na podstawie danych teledetekcyjnych. Analizie poddano dane z lotniczego skaningu laserowego i lotnicze obrazy hiperspektralne. Wykonano 5 rodzajów klasyfikacji, klasyfikacja: danych ALS (1 i 2), danych hiperspektralnych MNF metodą podobieństwa do krzywej spektralnej „*similarity/closeness of the spectral profiles*” (3 i 4) i SVM (5).

Dokładność klasyfikacji danych ALS (81.45%) była lepsza niż danych hiperspektralnych (67.34%) dla pojedynczych gatunków ale podobna dla dwóch grup: – 95.49% i 95.98%. Jeśli chodzi o wydzielenie trzech klas: las, potencjalnie las i nie-las to dla danych hiperspektralnych uzyskano 92.5% a dla danych ALS 90.0%. Zaprezentowane badania potwierdzają wniosek z autoreferatu.

Podsumowując badania zaprezentowane w 4 artykułach należy, mimo powyższych uwag krytycznych, uznać za bardzo wartościowe i interesujące. Mają one ponadto duże znaczenie praktyczne, bo jak Autor słusznie pisze: „klasyfikacja sadów i innych obszarów z roślinnością leśną jest ważna w kontekście raportowania powierzchni leśnej do organizacji międzynarodowych, gospodarki leśnej oraz łagodzenia skutków zmian klimatycznych”.

Ponadto na pozytywną uwagę zasługuje udział Doktoranta w projektach badawczych:

- REMBIOFOR project “Remote sensing determination of wood biomass and carbon stocks in forests” (BIOSTRATEG1/267755/4/NCBR/2015), conducted at the Forest Research Institute between 2014 and 2018 (www.rembiofor.pl),
- Project LIFE+ – ForBioSensing PL ‘Comprehensive Monitoring of Stand Dynamics in the Białowieża Forest using Remote Sensing Techniques’.

Na koniec chciałabym podnieść ogólnie, zagadnienie dokładności klasyfikacji. W klasyfikacji nadzorowanej kluczowe znaczenie mają wzorce, czyli dane referencyjne, które zwykle dzieli się na dwa zbiory: dane treningowe i walidacyjne. Takie podejście jest powszechnie wykorzystywane w klasyfikacji obrazów teledetekcyjnych z wykorzystaniem algorytmów maszynowego uczenia, gdzie klasyfikacje przeprowadza się wielokrotnie i na podstawie *k-fold* walidacji wybiera się najlepszy wariant. Jednak generalnie w maszynowym uczeniu rozróżnia się 3 zbiory: [treningowy](#), [walidacyjny](#) i [testowy](#). Zagadnienie to pozostawiam do dyskusji na obronie.

Podsumowanie

Konkludując, należy stwierdzić, że dysertacja magistra Tomasza Hyczy odpowiada w pełni wymogom formalnym stawianym rozprawom doktorskim oraz spełnia wymagania ustawowe (Ustawa z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki, Dz. U. 2017, poz. 1789). Stanowi oryginalne rozwiązanie ważnego problemu naukowego, świadczy o dużej wiedzy Autora z zakresu leśnictwa i teledetekcji oraz o umiejętnościach niezbędnych do samodzielnego prowadzenia badań. Wnioskuje o dopuszczenie Doktoranta do dalszych etapów postępowania.

B. Hejmanowska

