

dr hab. inż. Piotr Wężyk, prof. URK
Katedra Zarządzania Zasobami Leśnymi
Wydział Leśny
Uniwersytet Rolniczy im. H. Kołłątaja w Krakowie
al. 29 Listopada 46
31-425 Kraków

Kraków, dn. 04.12.2022 r.

**Recenzja rozprawy doktorskiej
Pana mgr Tomasza Hyczy**

pt. *„Metoda delimitacji obszarów leśnych z wykorzystaniem danych lotniczego skanowania laserowego i zobrażeń hiperspektralnych”*.

Formalną podstawą sporządzenia recenzji pracy doktorskiej było pismo z dnia 10.10.2022 roku (sygnatura: RN-0000-187/2022) Pani profesor dr hab. Doroty Hilszczańskiej - Sekretarza Rady Naukowej Instytutu Badawczego Leśnictwa w Sękocinie Starym. W niniejszym piśmie zostałem wskazany jako recenzent (powołany uchwałą Rady Naukowej z dnia 29.09.2022 r.) rozprawy doktorskiej w przewodzie doktorskim Pana mgr inż. Tomasza Hyczy pt. „Metoda delimitacji obszarów leśnych z wykorzystaniem danych lotniczego skanowania laserowego i zobrażeń hiperspektralnych” i na tej podstawie dokonałem recenzji, którą niniejszym przedkładam.

Wstęp

Zgodnie z Ustawą z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (t.j. Dz. U. z 2020 r. poz. 85 ze zm.) - Rozprawa doktorska może mieć formę (...) spójnego tematycznie zbioru artykułów opublikowanych lub przyjętych do druku w czasopismach naukowych (...). Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska Pana mgr inż. Tomasza Hyczy, w rozumieniu recenzenta stanowi taki właśnie spójny tematycznie zbiór artykułów opublikowanych w języku angielskim, które ukazały się w punktowanych czasopismach naukowych: 2018, 2021 oraz w 2022 roku. Prace będące podstawą dysertacji ukazały się w czasopismach specjalizujących się w zagadnieniach badawczych związanych z leśnictwem. Przedłożona rozprawa doktorska Pana mgr Tomasza Hyczy została przygotowana pod opieką naukową promotora dr hab. inż. Krzysztofa Starańczaka, prof. IBL.

Oceniana dysertacja jest oparta na spójnym tematycznie cyklu 4 anglojęzycznych prac opublikowanych w 1 krajowym i w 3 międzynarodowych czasopismach naukowych (charakteryzujących się stosunkowo wysokim współczynnikiem wpływu IF) - oraz na Autoreferacie (tzw. Przewodniku). Wybrane parametry bibliometryczne publikacji zestawiono poniżej (Tabela 1).

Tabela 1. Zestawienie wybranych parametrów bibliometrycznych prac wchodzących w skład pracy doktorskiej Pan mgr. inż. Tomasza Hyczy.

| Rok publikacji | Czasopismo | Punkty wg wykazu czasopism MNiSW | IF | Udział Doktoranta w publikacji |
|----------------|---|----------------------------------|-------|--------------------------------|
| 2021 | Forests | 100 | 3,282 | 65% |
| 2021 | Annals of Forest Science | 140 | 3,775 | 51% |
| 2018 | New Zealand Journal of Forestry Science | 70 | 0,926 | 50% |
| 2022 | Sylvan | 70 | 0,654 | 70% |

Recenzent sprawdził podane na stronie 11 informacje bibliometryczne i wyraża jednocześnie pewne zdziwienie zapisem w Autoreferencie, iż rozprawa składa się z **pięciu prac** (pierwsza linia akapitu) choć Doktorant wykazuje **tylko cztery publikacje**. Podobnie, podany przez Autora sumaryczny IF nie jest niestety do końca zgodny matematycznie, gdyż Doktorant podaje sumę 9,186 w sytuacji kiedy wynosi on $IF = 8,637$. Wskazuje to, być może na wycofanie przed złożeniem dysertacji jednej pracy z prezentowanego cyklu, co nie jest żadnym problemem dla recenzenta, ale skutkuje powstaniem niewielkiego błędu bibliometrycznego, który można potraktować jak omyłkę drukarską. Nie jest ona oczywiście kluczowa dla recenzji, jednak zwracam uwagę Doktorantowi na dochowanie staranności oraz poprawności Autoreferatu jako ważnej integralnej części dysertacji. Istotnym elementem rozprawy doktorskiej przygotowanej w formie cyklu spójnych tematycznie publikacji, szczególnie tych powstałych przy współpracy większego zespołu autorów jest precyzyjne określenie wkładu merytorycznego doktoranta w poszczególnych pracach. Zostało to jednoznacznie określone przez Autora Przewodnika w załączonych oświadczeniach – jako udział procentowy i wskazanie wkładu merytorycznego. Udział procentowy doktoranta wynosił w kolejnych publikacjach: 65%, 51%, 50% oraz 70%. We wszystkich artykułach Pan mgr Tomasz Hycza jest pierwszym autorem. Tak więc udział Doktoranta był kluczowy na etapie zarówno planowania, zbierania danych, analiz i przygotowania publikacji co należy bardzo wysoko ocenić.

Układ i treść pracy doktorskiej

Układ przedłożonej dysertacji jest następujący: zaczyna się od oświadczeń oraz streszczeń w języku polskim (2 strony) i angielskim (2 strony), słowniczka skrótów (2 strony), 1. WSTĘPU (7 stron), 2. CELU i ZAKRESU PRACY (1 strona), 3. HIPOTEZ BADAWCZYCH (1 strona), 4. MATERIAŁY i METODY (8 stron), 5. NAJWAŻNIEJSZE WYNIKI (8 stron), 6. WNIOSKI (1 strona) oraz 7. DLASZE KIERUNKI BADAŃ (2 strony), 8. SPISU TABEL, 9. SPISU RYCIN i 10. SPISU LITERATURY (7 stron) oraz ZAŁĄCZNIKÓW (Oświadczeń Autorów o procentowym udziale oraz Kopie opublikowanych prac).

Ocena istotności i celowości podjętej pracy doktorskiej

Autor dysertacji, podejmując się realizacji badań naukowych w zakresie detekcji obszarów leśnych znalazł się w niezmiernie kluczowym obszarze nauki związanej z globalnymi

zagadnieniami zmian klimatycznych skutkujących gwałtownymi przemianami warunków życia cywilizacji i potencjalnymi licznymi dla niej zagrożeniami. Przyjmując jako pewnik, negatywnych skutków działalności człowieka, tj. wywoływanie lub przyspieszanie zmian klimatycznych na Ziemi, należy zwrócić uwagę na jeden z podstawowych czynników jakimi są procesy wylesiania lub niekontrolowanej rabunkowej gospodarki leśnej. Lasy bowiem są wielkim sprzymierzeńcem dla procesu mitygacji negatywnych skutków płynących z gwałtownych i długotrwałych zmian klimatu. Osobnym, bardzo ważnym zagadnieniem jest oczywiście stosowanie obowiązujących definicji lasu w zależności od stref klimatycznych czy istniejących systemów kulturowych czy ekonomiczno-administracyjnych do metod kartowania i raportowania.

Jedną z kluczowych inicjatyw Europejskiego Zielonego Ładu (Green Deal), opierającego się na strategii UE na rzecz bioróżnorodności, jest Strategia Leśna UE 2030 obejmująca wszystkie różnorodne funkcje lasów. Ma się ona przyczynić do osiągnięcia celu UE redukcji emisji gazów cieplarnianych o co najmniej minimum 55 proc. w roku 2030 i do tzw. neutralności klimatycznej w roku 2050 r. Jednocześnie zobowiązania UE do zwiększenia pochłaniania gazów cieplarnianych przez m.in. lasy, co podkreślają inicjatywy Komisji Europejskiej zapisane w Prawie o klimacie. Europa ma się stać bowiem pierwszym kontynentem neutralnym dla klimatu. To ogromne wyzwanie dla wszystkich krajów członkowskich UE, co skutkuje m.in. poprawą ochrony ekosystemów leśnych, ich przywracania czy zwiększania ich odporności na czynniki szkodliwe. Celem tych polityk UE jest m.in. dostosowanie europejskich lasów do nowych warunków klimatycznych, gotowości do zmagania się z ekstremalnymi zjawiskami pogodowymi i ograniczaniem niepewności powodowanej zmianami warunków wzrostu drzew. Jednym z celów strategii jest również pobudzenie ekoturystyki w obszarach leśnych. Strategia przewiduje powstanie nowych systemów wsparcia finansowego dla właścicieli i zarządców lasów za świadczenie usług ekosystemowych (ES) w celu pokrycia kosztów i utraconych dochodów np. za obszary wyłączone z użytkowania. Strategia wzywa państwa członkowskie UE do przyspieszenia we wprowadzaniu upraw sprzyjających pochłanianiu dwutlenku węgla przez glebę, na przykład za pośrednictwem ekoprogramów WPR w obszarach systemów rolno-leśnych (Agro-Forestry). Strategii leśnej towarzyszy również plan zasadzenia co najmniej 3 miliardów dodatkowych drzew w UE do 2030 roku.

W celu uzyskania pełnego i porównywalnego obrazu stanu, ewolucji i przewidywanego przyszłego rozwoju lasów w Unii Europejskiej, w dokumentach Strategii Leśnej 2030 pojawił się wniosek ustawodawczy dotyczący obserwacji, sprawozdawczości i gromadzenia danych dotyczących lasów. To właśnie harmonizowane i interoperacyjne systemy geoinformatyczne, gromadzące i raportujące dane na szczeblu UE, w połączeniu z planowaniem strategicznym w państwach członkowskich mają sprawić, by lasy mogły pełnić różnorodne funkcje związane z ochroną i kształtowaniem klimatu, utrzymaniem i zwiększaniem różnorodności biologicznej i gospodarką.

Dotychczasowe inicjatywy (1985 rok) w tym zakresie obejmowały np. program pod nazwą CORINE (COoRdination de l'Information sur l'Environnement / CO-oRdination of INformation on Environment). W skład program wchodzi m.in. CORINE Land Cover, który w kolejnych edycjach (1990, 2000, 2006, 2012 oraz 2018) dostarcza dla dużej części Europy danych o klasach

pokrycia terenu. Ostatnia edycja projektu CORINE Land Cover CLC2018 była realizowana już w ramach Europejskiego Programu - Copernicus, komponent Land Monitoring, którego celem było wykazanie zmian pokrycia terenu i jego użytkowania jakie miały miejsce w latach 2012-2018 oraz stworzenie jednolitej bazy danych geometrycznych i atrybutowych CLC2018. Dodatkowo opracowano tzw. warstwy wysokorozdzielcze (High Resolution Layers; HRL) dotyczące: terenów nieprzepuszczalnych, lasów (zwarcie koron i typy lasów), trwałych użytków zielonych, zbiorników wodnych i terenów podmokłych oraz takich produktów jak m.n.: Urban Atlas, Riparian Zones oraz wybranych NATURA2000 (N2K). Ostatnie edycje CLC2018 opracowywane przez państwa członkowskie bazowały w dużej mierze na zobrazowaniach satelitarnych oraz fotolotniczych a także danych GIS niezbędnych do weryfikacji istniejących w zasobach kartograficznych i geodezyjnych informacji na temat pokrycia terenu.

Jednym z programów realizowanych w zakresie monitorowania przestrzeni UE jest program LUCAS realizowany przez instytucję EUROSAT w cyklu trzyletnim od 2006 roku, koncentruje się na stanie i dynamice zmian użytkowania i pokrycia terenu. Badanie przeprowadzane jest in-situ tj. na miejscu. Łącznie przeanalizowano ponad 270.000 punktów monitoringowych w różnych rodzajach pokrycia terenu (grunty uprawne, użytki zielone, lasy, obszary zabudowane, sieć transportowa itp.). W punktach siatki obserwacyjnej określa się m.in. pokrycie terenu i użytkowanie gruntów, zarządzanie nawadnianiem oraz elementy strukturalne krajobrazu. Poza standardowymi pracami urzędowymi realizowanymi w lasach będącymi własnością Skarbu Państwa i zarządzanych przez PGL LP, istnieje w Polsce tzw. sieć WISL (Wielkoobszarowa Inwentaryzacja Stanu Lasu; BULiGL), która ma za zadanie cykliczne (od 2005 roku) dostarczać wiarygodnych informacji o lesie. Zalicza się do nich podstawowe charakterystyki nt. biomasy drzewnej (miąższość, przyrost, pozyskanie, śmiertelność drzew) oraz szereg specjalistycznych obserwacji cyklicznie wykonywanych na stałych powierzchniach próbnych - co pozwala monitorować procesy zachodzące w ekosystemach leśnych i ich bezpośrednim otoczeniu. Zgodnie z Instrukcją inwentaryzacji, WISL obejmuje lasy wszystkich własności (w rozumieniu Art. 3 ustawy z 28 września 1991 r. o lasach) wykazane w ewidencji gruntów i budynków (EGiB) oraz obszary z roślinnością leśną niebędące lasami (wg klasyfikacji EGiB), o zwartej powierzchni co najmniej 0,1 ha i pokryciu powierzchni koronami drzew wynoszącym więcej niż 10%. Podstawą wyznaczenia sieci tych powierzchni jest układ powierzchni obserwacyjnych (ICP Forest) dla oceny uszkodzeń w lasach, zgodny z układem obowiązującym w Unii Europejskiej (Commission Regulation (EEC) No 1696/87). Siatka powierzchni 16*16 km, na potrzeby inwentaryzacji wielkoobszarowej (WISL), zagęszczono do układu 4*4 km. W węzłach siatki lokuje się powierzchnie centralne traktów a cały trakt jest grupą pięciu powierzchni próbnych, oddalonych o 200 m, rozmieszczonych na planie równoramiennej litery L na jakich prowadzi się prace. Dane te stanowią często jedyne źródło informacji dla lasów prywatnych (19,3%) niebędących w zarządzie PGL LP. Dla lasów prywatnych przeprowadza się jedynie uproszczone plany zarządzania finansowane z dość skromnych środków starostw powiatowych.

Całkowicie osobną kwestią są w Polsce obszary leśne, które nie występują w bazach EGiB i określane są często jako „lasy poza ewidencją”, które po części stanowią również element dysertacji. Od roku 2015 Biuro Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej na podstawie najnowszych dostępnych materiałów teledetekcyjnych prowadzi coroczną weryfikację pokrycia gruntu

w punktach sieci WISL, na których dotychczas nie prowadzono pomiarów terenowych. Wg raportu WISL (2017-2021) powierzchnia lasów poza EGiB została oszacowana na poziomie aż 1.077.673 ha co stanowi około 3,2 % powierzchni całego kraju oraz około 10,8% oficjalnej powierzchni lasów wszystkich własności w Polsce.

Co wydaje się ważne również w perspektywie ocenianej dysertacji, w procesie weryfikacji jakości danych CLC 2018 (EEA) w przypadku klas „lasy”, to fakt, iż wg WISL łączny udział powierzchni tworzonej przez korony gatunków drzew liściastych w „lasach poza ewidencją” osiągnął w Polsce 66,3% i tym samym jest dwukrotnie wyższy od udziału gatunków iglastych (33,7%). Przeważającym gatunkiem drzewiastym w tych niezewidencjonowanych obszarach była sosna zwyczajna (30,1%), a mniejsze udziały powierzchniowe odnotowano dla drzewostanów z panującą brzozą brodawkowatą (23,8%) i olszami (17,9%). Relacje udziału gatunków drzew panujących w „lasach poza ewidencją” znacząco odbiegają więc od składu gatunkowego lasów dostępnych w bazach EGiB, które zdecydowanie wskazują na przewagę gatunków iglastych (68,6%) z dominacją sosny zwyczajnej (58,6%).

Aby spełnić powyższe zamierzenia polityk UE, kluczowym staje się opracowanie uniwersalnych zautomatyzowanych i efektywnych metod rejestracji, detekcji, kartowania, atrybutacji, analizowania i raportowania danych o klasach pokrycia terenu związanych z roślinnością o charakterze zbiorowisk leśnych. Zautomatyzowane procesy monitorowania zdalnego wykorzystujące różne technologie teledetekcyjne (w tym z poziomu lotniczego takie jak ALS LiDAR oraz zobrazowania hiperspektralne) oraz analizy przestrzenne oparte na systemach GIS - stają się więc kluczowe w celu zapewnienia podstawowych danych statystycznych dla obszaru UE, w tym Polski.

Analizując zagadnienia związane z tematem dysertacji w skali globalnej można jednoznacznie stwierdzić, iż wybrany temat przewodni cyklu lokuje się w głównych nurtach badań naukowych uniwersytetów czy instytucji badawczych. Ilościowe i jakościowe badania nad aktualną powierzchnią zajmowaną przez lasy w skali globalnej znajdują się na listach najbardziej poczytnych wydawnictw w zakresie leśnictwa. Przytoczyć tu można np. projekty takie jak Global Forest Change (grupa badawcza prof. Hansena) czy bazujące na wynikach projektu inicjatywy Global Forest Watch. Nie bez znaczenia są takie inicjatywy takie jak REED+ (UNFCCC - COP) powstałe w celu ukierunkowania działań w sektorze leśnym, zmierzające do ograniczenia emisje jako skutków wylesiania i degradacji lasów, a także zrównoważonego zarządzania lasami oraz ochrony i zwiększania zasobów węgla w lasach w rozwijających się kraje. Tego typu inicjatywy wymagają w skali globalnej narzędzi geoinformatycznych oraz dostępu do zobrazowań aktualnych satelitarnych w skali całego globu. Równie ważna jest też inicjatywa Norweskiego Ministerstwa Klimatu i Środowiska oraz Norweskiej Agencji ds. Współpracy na rzecz Rozwoju (Norad), które wspólnie zarządzają Norweską Międzynarodową Inicjatywą Klimatyczno-Leśną (NICFI). Głównym celem NICFI jest łagodzenie zmian klimatu poprzez zmniejszenie i odwrócenie utraty lasów tropikalnych, zachowanie bioróżnorodności i zrównoważony rozwój. W ramach projektu podpisano umowy dostawcami danych satelitarnych (Airbus, Planet Labs) w celu bezpłatnego udostępniania zainteresowanym podmiotom dostępu do wysokorozdzielczych obrazów

satelitarnych z obszarów lasów tropikalnych dla potrzeb monitoringu wylesień i zalesień oraz raportowania.

Ten długi wywód zrobiony przez Recenzenta miał podkreślić istotne znaczenie pracy Doktoranta, który skupił się na opracowaniu metodycznych rozwiązań demonstrując możliwości techniczne w zakresie kartowania obszarów o charakterze leśnym (co prawda w skali lokalnej) wykorzystując w tym celu chmury punktów pochodzące z Lotniczego Skanowania Laserowego (ALS LiDAR) oraz zobrazowania hiperspektralne (HS). O istotności podjętych przez Doktoranta badań mogą świadczyć liczne publikacje i projekty naukowe realizowane w ostatnich kilkunastu latach, a on sam jest beneficjentem wielozródłowych danych pozyskiwanych w ramach innowacyjnych i wiodących projektów naukowych realizowanych w skali kraju (jak ISOK) czy skupiających się na analizach obszarów leśnych (np. BIOSTRATEG NCBR czy LiFE ForBioSensing IBL).

Ocena merytoryczna dysertacji

Wartość naukowa pracy doktorskiej spełnia stawiane tego typu opracowaniom wymagania. Na podstawie zaplanowanych przez Doktoranta na przestrzeni kilku lat i po kolei realizowanych badań (co wymagało opanowania przez niego licznych umiejętności z zakresu kilku dziedzin wiedzy), Autor przedstawił szereg interesujących wyników analiz, bazujących na chmurach punktów ALS LiDAR oraz zobrazowaniach hiperspektralnych.

Głównym celem przedłożonej rozprawy doktorskiej wg. jej Autora było wykorzystanie danych teledetekcyjnych (zobrazowań hiperspektralnych i danych z lotniczego skanowania laserowego) do detekcji powierzchni gruntów leśnych w kontekście definicji lasu sformułowanych w Ustawie o Lasach oraz przez Konwencję Klimatyczną (UNFCCC) i Organizację ds. Wyżywienia i Rolnictwa Organizacji Narodów Zjednoczonych (FAO/UN).

W tym miejscu recenzent chciałby zwrócić jednak uwagę, iż cel nie został raczej odpowiednio sformułowany. Celem bowiem powinno być przede wszystkim opracowanie i przetestowanie efektywnych i powtarzalnych metod kartowania zbiorowisk o charakterze leśnym, opartych na teledetekcji - dla celów raportowania statystyk pokrycia terenu - a nie sam fakt wykorzystania tego danych teledetekcyjnych. Ta niby drobna uwaga, jest jednak kluczowa w nauce. Choć jesteśmy zafascynowani często nowymi technologiami, to należy zawsze dostrzegać wartość badawczą problemu i umieć odpowiednio ją zdefiniować. Niewątpliwie narzędzia geoinformatyczne i innowacyjne dane jakimi posługuje się Doktorant prowadzą do osiągnięcia celu jakim powinno być opracowanie sprawdzonej metodyki detekcji i opisu lasów/zadrzewień pod kątem specyficznych wymogów raportowania - a nie tylko udowodnienie wykorzystania samych danych. Bowiem, to nie tylko dane świadczyć będą o sukcesie lub jego braku a właśnie autorskie rozwiązania różnych podejść i modyfikacji, które są prezentowane w 4 publikacjach. Być może właśnie ze względu na specyfikę projektów badawczych w jakich Doktorant uczestniczył i pracę przepelnioną wykorzystaniem technologii geoinformatycznych, nie był w stanie dostrzec - nadrzędnego celu badawczego nie definiując go poprawnie.

W dalszej części Przewodnika Autor jednak się broni definiując poprawne cele cząstkowe, wyartykułowane w poszczególnych pozycjach cyklu publikacji - wskazując na opracowanie

optymalnych metod:

1. określania pokrycia powierzchni przez korony drzew jako kryterium początkowego w definicji powierzchni pokrytych przez lasy na podstawie danych z lotniczego skanowania laserowego (artykuł nr 1),
2. odróżniania sadów od innych gruntów z roślinnością drzewiastą na podstawie danych z lotniczego skanowania laserowego (artykuł nr 2),
3. klasyfikacji gatunków drzew z wykorzystaniem danych hiperspektralnych (artykuł nr 3), oraz
4. klasyfikacji gruntów z sukcesją naturalną na gatunki, które osiągną wymagane rozmiary i pozostałe oraz porównania wyników klasyfikacji gruntów leśnych, nieleśnych i potencjalnie leśnych na podstawie danych hiperspektralnych i danych lotniczego skanowania laserowego (artykuł nr 4).

Choć brzmienie celów szczegółowych często nie jest może najlepsze stylistycznie, to jednak, Autor jasno wprowadza czytelnika w poszczególne kroki swoich badań przebiegające od segmentacji koron i określania zwarcia i zasięgu okapu przez analizy struktury roślinności drzewiastej na drodze granulometrii po zaawansowane analizy obrazów hiperspektralnych i ich fuzji z LiDAR dla celów klasyfikacji gatunków i ich cech biometrycznych.

Dalej, Autor dysertacji formułuje główną hipotezę badawczą o brzmieniu: *Dane lotniczego skanowania laserowego oraz dane hiperspektralne mogą być skutecznie wykorzystane do detekcji lasów, zgodnie z definicjami sformułowanymi w Ustawie o Lasach oraz przez Konwencję Klimatyczną (UNFCCC) i Organizację ds. Wyżywienia i Rolnictwa Organizacji Narodów Zjednoczonych (FAO/UN) – oraz przedstawia też szczegółowe hipotezy, tj. iż możliwe jest:*

- oszacowanie pokrycia danej powierzchni przez korony pojedynczych drzew na podstawie danych z lotniczego skanowania laserowego (artykuł 1),
- odróżnienie sadów od innych gruntów z roślinnością drzewiastą na podstawie danych z lotniczego skanowania laserowego (artykuł 2),
- klasyfikacja gatunków drzewna podstawie danych hiperspektralnych (artykuł 3),
- klasyfikacja gruntów z sukcesją naturalną na gatunki, które osiągną wymagane rozmiary i pozostałe na podstawie danych hiperspektralnych i danych lotniczego skanowania laserowego (artykuł 4),
- klasyfikacja gruntów leśnych, nieleśnych i potencjalnie leśnych na podstawie danych hiperspektralnych i danych z lotniczego skanowania laserowego (artykuł 4).

W tym miejscu recenzent musi zwrócić uwagę, iż część hipotez badawczych już dawno została zweryfikowana przez innych badaczy (choćby przez Promotora czy recenzenta) stąd nie stanowią one zasadniczego odkrycia naukowego, no chyba, że przedstawi się je w konkretnym świetle jako testowanie narzędzi pod specyficzne definicje lasu i schematów raportowania do różnych organizacji (np. FAO). Choć Autor przedstawia te zagadnienia z publikacjach poprawnie, to na tym etapie Przewodnika, hipotezy szczegółowe są po prostu zbyt ogólne przez co umniejszają

dużemu wysiłkowi Doktoranta. Formułowanie w hipotezie, wykorzystania chmur punktów ALS LiDAR do określania zasięgu koron drzew jest trochę zbyt precyzyjne, bo jest to paradygmat od kilkunastu lat w wielu krajach, natomiast dyskusja o algorytmach i ich dokładności jak najbardziej jest zadaniem badawczym w kierunku doboru odpowiednich efektywnych i dokładnych narzędzi raportowania. Tak więc, zbyt mała precyzja zapisu, a może pośpiech przygotowania Przewodnika obciążonego licznymi literówkami i zbitkami wyrazów i liter powoduje powstanie niepotrzebnego rozczarowania u recenzenta przed szczegółowym przeczytaniem publikacji cyklu. Przewodnik do Autoreferatu jest tak naprawdę w dużej części podstawą do oceny wartości naukowej dysertacji, w sytuacji kiedy cykl publikacji został już zrecenzowany przez innych badaczy najczęściej z innych krajów. Stąd też jakość Przewodnika powinna być bez zarzutu i nie może on być dodatkiem, ale musi stanowić integralną część podlegającą szczególnej ocenie.

W rozdziale 4.1. Obszary badawcze Autor charakteryzuje teren badań. Dla potrzeb artykułów nr 1 i 2, teren badań utworzyły drzewostany w Nadleśnictwie Miłcz zdominowane przez sosnę zwyczajną a także obszary poza PGL LP z licznie występującymi sadami oraz gruntami z pokrywą tworzoną przez roślinność drzewiastą. Teren Nadleśnictwa Miłomłyn (podobnie dominacja gatunków iglastych) był z kolei obszarem realizacji badań opisanych w artykule nr 3. Prace na potrzeby artykułu nr 4 realizowano na terenie tzw. Polany Białowieskiej, na której zauważalne jest wyraźnie zjawisko sukcesji wtórnej zbiorowisk o charakterze leśnym na tzw. gruntach porolnych. Wybrane obszary do badań charakteryzowały się aktualnymi zestawami geodanych i stanowiły bazę do testowania hipotez szczegółowych zarówno pod kątem detekcji drzewostanów gospodarczych czy naturalnych jak i sukcesji leśnej czy weryfikacji narzędzi do delimitacji sadów od lasów i zadrzewień oraz klasyfikacji gatunków.

W rozdziale DANE - Autor dysertacji opisuje charakterystyki wykorzystanych geodanych, tj. chmur punktów ze skanowania laserowego (ALS LiDAR) jak i zobrazowań hiperspektralnych, wielospektralnych ortofotomap lotniczych czy danych wektorowych (geodezyjnych LPIS czy wydziałów leśnych LMN z BDL) i inne.

Publikacja nr 1.

Autor Dysertacji podjął się przetestowania różnych metod detekcji i klasyfikacji terenów z pokrywą roślinności drzewiastej na podstawie określanych automatycznie w chmurze ALS LiDAR wybranych parametrów geometrycznych drzew, tj. ich wysokości, powierzchni rzutu pionowego na powierzchnię poziomą koron oraz kryterium progowania powierzchni biogrupy uznawanej za las. Analizy te były prowadzone w świetle raportowania opierającego się na dwóch definicjach tj. FAO/UN oraz UNFCCC. Łącznie testowano 3 metody wyznaczania pokrycia tworzonego przez korony drzew. Wierzchołki drzew jak i segmenty koron pochodziły z projektu REMBIOFOR a metodyka ich generowania w 3 grupach wysokościowych drzew została szczegółowo przytoczona. Autor testował więc podejście nr 1 oparte na tworzeniu otoczki wypukłej wokół skupień drzew, metodę nr 2 – bazującą na poligonach powstałych z segmentacji koron drzew oraz metodę nr 3 opartą na CHM przy odpowiednio zastosowanych kryteriach zgodnych z definicją FAO/UN czy Protokołu Kyoto.

Najwyższą dokładność uzyskała wg badań Autorów metoda nr 2 osiągając aż 97% ($Kappa > 0,94$; $RMSE\%$ i $MAE\% < 3\%$). Dokładności metodą nr 2 oraz 3 obliczone na 30 powierzchniach testowych była bardzo zbliżona dla obu definicji lasu. Najmniej dokładną (dokładność 83-93%, $Kappa$ 38-79%; $RMSE\%$ 68,7%-97,8% ; $MAE\%$ 57,8%-70,3%) okazała się metoda nr 1 bazująca na triangulacji wierzchołków i tworzeniu otoczki wypukłej, co w zasadzie było do przewidzenia, gdyż trójkątem w sytuacji dużych odległości i nieregularności występowania drzew nie można precyzyjnie opisać pola powierzchni zasięgu tworzonego przez rzuty koron. Zestaw danych referencyjnych stanowiły dane pozyskane, jak opisują autorzy metodą manualnej wektoryzacji wykonanej na wybranym zestawie powierzchni testowych o różnej powierzchni (100m² oraz 900 m²) i liczbie (odpowiednio 270 szt. i 30 szt.) w kontekście definicji FAO/UN i UNFCCC. Wektoryzację ekranową prowadzono na Modelu Koron Drzew (CHM; ang. Crown Height Model) nazywanym przez Autora Wysokościowym Modelem Koron (WMK) oraz na ortofotomapie lotniczej. Dane z pomiarów z kampanii terenowych były pomocne w wektoryzacji.

Recenzent ocenia tą pracę od strony metodyki jako poprawną choć nie może pominąć faktu, iż wykorzystywana w pracach ortofotomapa lotnicza prawdopodobnie nie była tzw. prawdziwą ortofotomapą (ang. *true orthophoto*) generowaną na NMPT, o czym w publikacji nie możemy przeczytać. Wykorzystywanie tradycyjnych ortofotomap generowanych ze zdjęć lotniczych przy wykorzystaniu NMT wprowadzą bowiem liczne błędy do geometrii pozycji wierzchołków czy zasięgu koron i lokalizacji luk, co wynika ze specyfiki rzutu środkowego zdjęcia lotniczego (przesunięcie radialne). Najbardziej właściwe (życzeniowo oczywiście) wydaje się w takim przypadku wykorzystanie obserwacji 3D na stacjach fotogrametrycznych (zdjęcia lotnicze nadir o pokryciu np. 75% lub zdjęcia z kamer ukośnych) lub stosowanie chmur punktów ALS o stosunkowo szerokim kącie rozwarcia skanera. Zapewniają one z jednej strony kartometryczność opracowania a z drugiej strony umożliwiają poprawną interpretację w domenie 3D (zasięgi koron, luki, występowania drugiego piętra, etc.).

Publikacja nr 2.

W kolejnej pracy Autorzy pracy podjęli się zadania klasyfikacji sadów, jako jednej z form o charakterze roślinności drzewiastej jednak nieleśnej. Pomocnym okazało się logiczne założenie, iż rozmieszczenie drzew w sadach ma zwykle charakter regularny, w przeciwieństwie do w miarę losowego w lasach gospodarczych (starsze klasy wieku). Analizy klasyfikacyjne bazowały na wskaźnikach Average Nearest Neighbor oraz Ripley's K-Function i obliczano je dla działek pobieranych z baz danych geometrycznych LMN (BDL) oraz systemu LPIS. Podstawą do selekcji konkretnych działek o charakterze katastralnym (LPIS) była lokalizacja automatycznie wykrytych wierzchołków pojedynczych drzew. Autorzy przeprowadzili bardzo zaawansowaną analizę granulometryczną tekstury obiektów na obrazach na podstawie przetworzeń morfologicznych obrazów intensywności generowanych na podstawie wartości powracającej energii lasera odbitego od obiektów. Przetworzenia prowadzono dla 6 zestawów danych będących pochodnymi przetworzeń MKD (CHM). Powstały łącznie 72 warstwy dla 12 typów przetworzeń.

By ograniczyć ilości danych przeprowadzono analizę na ograniczonym podzbiornie wybierając 14 warstw o największym zróżnicowaniu parametrów pomiędzy grupami sadów i drzewostanów.

Jak słusznie stwierdza w Przewodniku Doktorant, metody granulometryczne zajmujące się w zasadzie jedynie morfologią obrazu (otwarte/domknięte) nie analizują kontekstu przestrzennego (sąsiedztwa) przez co nie są uniwersalne. Kłopotem w takiej detekcji mogą być np. uprawy proweniencyjne drzew sadzonych bardzo równomiernie lub czekające nas być może inne układy roślinności będące odpowiedzią na tzw. Agro-Forestry, jak ma to już miejsce w różnych krajach świata. Tak więc detekcja sadów o regularnych kształtach wydaje się mieć podstawowe znaczenie dla monitorowania ewentualnych dopłat dla producentów rolnych i weryfikacji zgodności map użytkowania terenu. Sady stają się coraz częściej niskopiennie a w sytuacji niesprzyjających warunków atmosferycznych (np. przymrozki, susze, gradobicie) lub ekonomicznych (zbyt wysokie ceny zbioru w stosunku do skupu plonu) bywa, że są one poddawane likwidacji. Tak czy inaczej wg recenzenta jest to ciekawy wątek w cyklu poszukiwania rozwiązań w analizie cech obrazu. Wg recenzenta to właśnie fuzja danych GIS (kontekstowych: geometria i domena atrybutowa) oraz morfometrii obrazu (granulometria) lub charakterystyki (np. cechy Haralicka) stosowane przy analizie obiektowej obrazu. Dodatkowo, w procesie raportowania powierzchni zalesionych/zadrzewionych niektóre definicje wykluczają lasy w obszarach miejskich. Doktorant uzyskał następujące dobre wyniki współczynnika Kappa dla przeprowadzonych klasyfikacji, wskazujące na wyższe dokładności (89,2-95,3%) w przypadku klasyfikacji kompozycji będącej wynikiem analizy granulometrycznej i poligonów działek (LMN BDL/LPIS) niż w przypadku klasyfikacji kompozycji wyników analizy rozmieszczenia (15,5-47,2%). Ponadto wyniki analizy granulometrycznej i poligonów z segmentacji obiektowej (79,4-92,8%) były wyższe niż w przypadku klasyfikacji analizy rozmieszczenia (43-58,7%). Segmentacja obiektowa dała też lepsze wyniki (43-58,7%) niż w przypadku poligonów działek z baz LMN BDL/LPIS (15,5-47,2%).

Publikacja nr 3.

W publikacji numer 3 Autorzy postanowili zweryfikować hipotezę o możliwościach użycia obrazów HS do klasyfikacji gatunków lasotwórczych. Klasyfikacji poddano 4 zestawy danych hiperspektralnych, różnych pod kątem ilości zakresów spektralnych i ich doboru (wstępnego przetwarzania pod kątem eliminacji nadmiarowych informacji (PCA – pierwsze trzy kanały i MNF – pierwsze 7 kanałów), wszystkie 129 kanałów oraz 36 kanałów o największym zróżnicowaniu. W klasyfikacji nadzorowanej wykorzystano 260 pikseli uczących oraz aż dziewięć różnych algorytmów. Analizę dokładności przeprowadzono z wykorzystaniem 300 pikseli testowych i syntezowanych kompozycji barwnych wykazujących największe różnice wizualne pomiędzy gatunkami drzew. Analiza bazowała wyłącznie na klasyfikacji koron drzew tworzących górne piętro drzewostanu, dla których największą dokładność klasyfikacji przyniosła klasyfikacja pierwszych 7 zakresów spektralnych powstałych po transformacji Minimum Noise Fraction (MNF) i użycia algorytmu największego prawdopodobieństwa (Maximum Likelihood), bo aż 90,3% (Kappa – 0,9). Najwyższą dokładność PA (producenta) stwierdzono dla buka i modrzewia europejskiego (100%), bardzo wysoka dla sosny 98% a najniższą dla brzozy (10%). Najwyższą

dokładność użytkownika (UA; User accuracy) zaobserwowano dla gatunków: grabu, modrzewia europejskiego, sosny zwyczajnej i świerka pospolitego (wszystkie 100%), dębów 95% a buka 70.4%, przy czym najniższą dla brzozy (33,3%). Współczynnik determinacji R^2 pomiędzy znaną liczbą drzew referencyjnych na powierzchniach badawczych a wynikiem klasyfikacji obrazów HS wahał się od 0,68 (brzoza), przez 0,79 (buk), 0,81(sosna), około 0,9 (świerk, grab, dąb) do 0,99 (modrzew europejski). Autorzy pracy zauważają w konkluzjach, iż ta metoda określania składów gatunkowych drzewostanów jest bardzo dokładna i przyjazna dla użytkownika i nadaje się do stosowania w praktyce. Z tym jeszcze recenzent nie do końca się może zgodzić pomimo ogromnego postępu w dostępie do oprogramowania na licencji Open Source i nowych metod uczenia maszynowego. Wciąż istnieją poważne czynniki ograniczające w postaci nadmiarowych drogich danych, specyficznych warunków do nalołów HS oraz wykonywania pomiarów kalibracyjnych czy wysoko wykwalifikowanego personelu do analiz tego typu danych.

Publikacja nr 4.

W ostatniej w cyklu publikacji, jej Autorzy zajęli się problemami klasyfikacji stosunkowo młodych zadrzewień, które pod kątem specyficznych definicji nie spełniają np. jakiś kryteriów (np. wysokościowych czy zwarcia). Zestawem geodanych była fuzja danych pochodzących z liniowego skanerów hiperspektralnych HySpex VNIR oraz SWIR a także bardzo gęstych (19 punktów/m²) chmur punktów ALS LiDAR dla obszaru Polany Białowieskiej (dane z projektu LIFE+ ForBioSensing). Stosując progowanie i filtrację odrzucono zbiorowiska roślinności niższej niż 100cm oraz wartości $mNDVI705 < 0,44$, tj. wartości odpowiadającym wizualnym weryfikacjom i prac innych autorów z tego obszaru. Z analiz wykluczono także grunty orne, cmentarze, wody, sady, parki i pozostałe obszary infrastruktury (drogi, budynki). W celu ograniczenia ilości przetwarzanych danych HS i wykluczenia najbardziej skorelowanych kanałów, poddano je przetworzeniom algorytmem Minimum Noise Fraction (MNF). Jak pisze Autor dysertacji w celu wykorzystania pojemności informacyjnej chmury punktów ALS LiDAR wykorzystano tzw. „cechy strukturalne” i „miary intensywności” chmury punktów (np. maksimum, wartość modalną, odchylenia standardowe, 10-ty percentyl czy 90-ty percentyl i inne). W celu wykonania klasyfikacji nadzorowanej algorytmem Support Vector Machine wykorzystano 150 pikseli treningowych dla analizowanych gatunków drzew oraz grup gatunków zdefiniowanych na drodze analizy krzywych spektralnych. Wyniki klasyfikacji SVM Autorzy zagregowali do 2 grupy gatunków drzew (lepiej nazwać je rodzajami w sytuacji nieoznaczenia gatunku jak przy głogach czy dębach), które wg ich subiektywnego (w mniemaniu recenzenta) założenia albo osiągają albo też nie - próg wysokości 5,0 metrów. Do tych, które nigdy nie osiągną wysokości 5 m zaliczono wierzbę szarą oraz głóg (tu powinno być głogi - rodzaj). To dość dyskusyjny punkt założeń metodycznych gdyż wg różnych opracowań np. *Crataegus monogyna* L. może osiągać na niektórych siedliskach 6-8 m wysokości. Podobnie zresztą istnieją źródła wskazujące na to iż wierzba szara osiąga wysokość nawet do 7.0 m ale trzeba się zgodzić z autorem że warunki wzrostu w Białowieży na pewno są trudniejsze, stąd można przyjąć dla wierzby takie uzasadnienie. Jako powierzchnie weryfikacyjne wyznaczono 120 punktów testowych, które reprezentowały analizowane klasy 10 gatunków i były rozmieszczone losowo.

Klasyfikacja roślinności drzewiastej na gatunki (lepiej było by napisać rodzaje i gatunki), które osiągną wysokość 5,0 m - jaka jest kryterium lasu wg. FAO/UN oraz gat./rodzaje, które nie przekroczą tego progu (wierzba szara, głogi) oparta była na wykorzystaniu pierwszych 19 kanałów obrazu HS, które poddano wstępnemu przetwarzaniu algorytmem MNF oraz 15 najistotniejszych zmiennych pochodzących z charakterystyk chmury punktów ALS LiDAR. Całość przetworzeń klasyfikacyjnych realizowano algorytmem SVM. Dokładność klasyfikacji chmur punktów ALS LiDAR aż na 10 gatunków (rodzajów) okazała się być wyższa (81,4%) niż dokładność osiągnięta dla klasyfikacji zobrazowań hiperspektralnych (67,3%). Dokładność klasyfikacji dla poszczególnych gatunków/rodzajów drzew wykonana na bazie ALS LiDAR była wyższa niż dla stratyfikacji na 2 typy gatunków. Dokładność klasyfikacji zobrazowań HySpex na 2 grupy gatunków (rodzajów – kryterium osiągnięcie progu wysokości) była co ciekawe wyższa (96%) niż w przypadku klasyfikacji tylko chmur punktów ALS (95%).

Autorzy dokonali też podziału gatunków (lepiej powiedzieć może rodzajów) na „leśne” (znacznie lepiej gdyby powiedzieli gatunki lasotwórcze: świerk i drzewa dorosłe – choć nie definiują o jakie konkretnie gatunki drzew dorosłych chodzi) i „nieleśne” (wierzba szara i głogi). W tym punkcie recenzent musi być krytyczny, gdyż przyjęcie takiego podziału pokazuje bardzo leśno-gospodarcze podejście Doktoranta do tematu wykluczające w zasadzie zaliczanie a tym samym raportowanie np. w niektórych sytuacjach biogrup przerośniętych krzewów czy drzew niskopiennych jak głogi do lasów jeśli osiągną wysokość > 5.0 m. Istnieje jeszcze szereg innych krzewów w Polsce, które mogłyby taką progową wysokość osiągnąć i tworzyć biogrupy cenne dla bioróżnorodności biologicznej czy sekwestracji CO₂. W przypadku raportowania „lasów” z terenu Polski za czym kiedyś mogą znów popłynąć profity choćby wykazywania neutralności energetycznej powinno nam zależeć na jak najlepszych statystykach. Oczywiście Doktorant ma prawo przyjąć takie kryterium zaliczenia gatunku/ rodzaju do grupy, która nie osiągnie definicji lasu. Ze względu na istnienie cennych obszarów leśnych, na których występują już przerośnięte krzewy czy nawet drzewa owocowe (np. Beskid Niski, Bieszczady, efekt wtórnej sukcesji leśnej czy zalesień na gruntach porolnych) – takie gatunki, które osiągają niższe wysokości definiowałbym raczej jako „niespełniające kryterium”.

Autorzy określili dokładność wykonanej klasyfikacji dla obszarów: grunty leśne (GL), potencjalnie leśne (GPL; PA – 80%; UA – 97%) i grunty nieleśne (GNL) przy wykorzystaniu 120 punktów testowych. Obrazy HS zwróciły wynik bardzo wysoki (92,5% OA; Kappa 0,88) lepszy niż analizowane osobno chmury punktów ALS (90%; Kappa 0,85; PA – 72,5%; UA – 96,7%).

Uwagi szczegółowe do dysertacji.

Wszystkie 4 przedłożone jako spójny cykl prac artykuły naukowe, przeszły przez wymagające etapy recenzji czasopism naukowych, stąd recenzent nie będzie się już odnosił do ich treści pod kątem naukowym i edycyjnym, a jedynie wyraził powyżej swą opinię odnosząc się do omawiającego go Autoreferatu stanowiącego integralną część Rozprawy doktorskiej.

W moim przekonaniu tytuł Autoreferatu, a tym samym dysertacji, nie został szczęśliwie skonstruowany, w aspekcie doboru 4 artykułów stanowiących cykl. Otóż Autor użył słowa „delimitacja”, które w zasadzie oznacza rozgraniczenie czy ustalenie granic (czasem zamiennie w przypadku granic państw używa się słowa demarkacja). Publikacje 1 oraz 2 można uznać za metody ustalania granic (poligonów) obiektów ale już 3 oraz 4 raczej metodycznie dotyczą kwestii klasyfikacji gatunków/rodzajów drzew jako takich, niż metod samego rozgraniczenia, które niekoniecznie musi dotyczyć składu gatunkowego a np. zwarcia. Dodatkowo Autor użył w tytule słowa „obszary leśne” lecz w zasadzie nie zdefiniował w Przewodniku co tak naprawdę rozumie pod tym pojęciem i czy uznaje za nie, poza klaso-użytkiem „las” (Ls) takie obiekty jak np. biogrupy drzew na użytkach rolnych, plantacje szybkorosnących drzew, zadrzewienia wzdłuż dróg czy pasy przeciw-wietrzne etc. Autor wprowadza w legendzie (Publ. 4) poza obiektami: „Lasy”, także „Lasy potencjalne” i „Nielasy” (pisownie wymaga sprawdzenia). Zgadzam się, że nie jest banalnym zadaniem obranie jednej nazwy dla przedmiotu tej dysertacji czyli „lasów” rozumianych bardzo szeroko i za każdym razem trochę inaczej. Dlatego zaproponowałbym zamiast obszarów leśnych, obszary pokryte roślinnością drzewiastą. W moim przekonaniu lepiej brzmiałby tytuł: *Dobór metod fuzji i klasyfikacji wieloźródłowych danych teledetekcyjnych dla potrzeb kartowania obszarów pokrytych roślinnością drzewiastą*. Lepiej oddawał by on myśl przewodnią Doktoranta prezentowaną w 4 publikacjach. Kartowanie bowiem (ang. *mapping*) obejmuje swym znaczeniem zarówno określanie zasięgu (delimitacja) jak i przypisanie cech atrybutowych (np. zadrzewienie) inwentaryzowanym obiektom.

Artykuły budujące cykl stanowią pewną logiczną ścieżkę badawczą, w której aktywnie uczestniczył Autor dysertacji, kierując wszystkimi 4 pracami. Choć recenzent widzi wiele ciekawych naukowych pomysłów (jak zastosowanie granulometrii obrazu bądź użycia zmiennych wyjaśniających na bazie charakterystyk intensywności ALS LiDAR) co miało duże znaczenie dla przyjęcia ich do druku w czasopiśmie zagranicznych i krajowych, to jednak brakuje mu trochę szerszego przetestowania tych metod na większej próbie danych czy też sformułowania bardziej odważnych wniosków dla realnej praktyki leśnej a nie tylko lokalnej. Ograniczeniem jednak, z którym trzeba z się obiektywnie zgodzić - jest brak w dostępności w Polsce do obrazów HS, dla których istniałyby także dane ALS LiDAR pozyskiwane w podobnym okresie i o takiej gęstości jaką posiadały dane z dysertacji.

W przekonaniu recenzenta osiągnięciem naukowym Doktoranta jest testowanie i dobór różnych algorytmów oraz kombinacji zestawów geodanych będących wynikiem fuzji kanałów hiperspektralnych (wybranych jako efekt wstępnego przetworzenia) oraz chmury punktów 3D ALS LiDAR - rozumianej nie tylko jako ważna informacja geometryczna ale również jako zestawu o większym potencjale informacyjnym (wykorzystanie intensywności).

O ile Doktorant udowadnia, niektóre dość oczywiste hipotezy (jak choćby oszacowanie pokrycia powierzchni przez korony drzew w oparciu o dane ALS LiDAR), to recenzent nie może w pełni zgodzić się z wnioskiem Autoreferatu numer 6. Otóż, Doktorant stwierdza, iż z praktycznego punktu widzenia (jak rozumiem użytkownika np. Administracji PGL LP) wystarczy wykorzystanie danych ALS LiDAR bez potrzeby ich uzupełnienia danymi HS. O ile mogę zgodzić

się z doktorantem, że dane ALS o odpowiedniej gęstości i liczbie ech sygnału nadają się do określania wybranych parametrów biometrycznych to jednak określenie gatunku drzewa wcale nie musi być tak banalne. Zresztą Doktorant określał również dokładność klasyfikacji rodzajów jak dębów czy głogów a więc nie gatunków (bardziej rozumianych jako taksonów). Dalej Doktorant pisze (nie wiem skąd czerpie swe doświadczenia ale wygląda na to, że miał to szczęście, iż pracował wyłącznie w projektach Promotora, który zapewnił mu niewiarygodnie wszechstronne źródła danych optycznych, termalnych, hiperspektralnych czy LiDAR) - iż standardowym produktem na rynku jest chmura punktów ALS z informacją CIR. Niestety, jeśli podejść od strony praktycznej, to mamy w Polsce pozyskane zestawy danych dla całego terytorium, co zajęło niemal 6-7 lat i tylko na niektórych obszarach dostępne są synchroniczne naloty z kamerami wielospektralnymi i kanałem NIR. Informacja CIR może być już nie tak daleko przydatna, jeśli doktorant rozumie pod tym np. proces pokolorowania chmury punktów ALS wartościami pikseli z kompozycji CIR (Color InfraRed). Ze względu na ścieżkę produkcyjną ortofotomap i stosowane wyrównanie tonalne radiometria kompozycji CIR to nie to samo co pojedyncze separowane kanały wielospektralne kamer cyfrowych.

W tym miejscu recenzent chciałby poprosić Doktoranta by przedstawił na publicznej obronie podstawowy przegląd współczesnych kamer lotniczych czy też montowanych na BSP. Poza brakiem odpowiednich danych radiometrycznych kolejnym problemem jest realizacja kampanii ALS LiDAR dla potrzeb geodezji (dane dla modeli wysokościowych) czy hydrologii (Dyrektywa Powodziowa) w okresach spoczynkowych (ang. LEAF-OFF). Przy stosowanych gęstościach chmur punktów ALS dla obszarów leśnych i rolniczych (4 pkt/m²) może się okazać, iż część wniosków o znaczeniu dla praktyki nie będzie prawdziwa. Określenie gatunku drzewa pozbawionego liści przy wykorzystaniu chmur punktów ALS o niewielkich gęstościach może być nie lada wyzwaniem. Pewne nadzieje na wsparcie monitorowania obszarów zadrzewionych występujących poza lasami będącymi w zarządzie PGL LP, Parków Narodowych czy części lasów niepublicznych - (bo z tym w ocenie recenzenta mamy problem w Polsce) można i należy pokładać w wykorzystaniu zobrażeń satelitarnych. O ile mamy od 2015 roku szeroki dostęp do nieodpłatnych danych z programu Copernicus (np. misje SENTINEL-2; 13 zakresów optycznych) to jednak w przypadku inicjalnych stadiów wtórnej sukcesji leśnej o charakterze zbiorowisk leśnych dane te mogą być niewystarczające w zakresie kryterium wysokościowego dla obiektów klasyfikowanych jako las (definicje FAO oraz UNFCC). Z pomocą mogą przyjść dane typu SLS (IceSate-2 lub GEDI) ale są ograniczone geograficznie w Polsce (do 52N) i stosunkowo rzadko (plamki co kilkaset metrów od siebie). Innym źródłem danych mogą być wysokorozdzielcze komercyjne zobrażenia satelitarne z zakresu optycznego lub pojawiające się właśnie otwarte (dostęp naukowy) dane hiperstepktralne (EnMAP).

W tym właśnie zakresie aktualnego stanu teledetekcji satelitarnej, trochę wykraczając poza Autoreferat i cykl publikacji - recenzent chciałby poznać wiedzę Doktoranta. Zaniepokoił go bowiem wpis w rozdziale 7. Dalsze kierunki badań - iż w przestrzeni kosmicznej pojawia się coraz więcej satelitów, przy czym nieprecyzyjnie zostały wymienione m.in. te satelity, które już zostały deorbitowane i wyłączone z użytkowania lub uległy awarii. Stąd właśnie, zakładając, iż doktorant dalej będzie rozwijać swe naukowe horyzonty, poproszę o przegląd sensorów optycznych i mikrofalowych współcześnie dostępnych jakie potencjalnie mogą być wykorzystywane

w kartowaniu ekosystemów leśnych. Proszę też o uzupełnienie informacji na temat innych projektów w Polsce niż ISOK, których zadaniem jest pozyskiwanie chmur punktów ALS LiDAR.

Inna uwaga odnosi się też do treści w rozdziale 7., w którym Doktorant zamierzał chyba roztoczyć wizje przyszłych badań i wdrożeń (jak raportowanie) a jednak wydaje się, iż cofa on czytelnika jakby do Wprowadzenia tłumacząc m.in. co to są grunty leśne pozbawione przejściowo roślinności, wskaźniki roślinne czy obiektywne trudności w kartowaniu drzewostanów. Trochę te końcowe akapity Autoreferatu obniżają całkiem niezłą ocenę całości dysertacji. Jakby zabrakło pod koniec już sił Doktorantowi na ten rozdział, który w zasadzie jest zbędny. Wystarczyłoby się może odnieść do potrzeb w zakresie monitorowania lasów i zadrzewień wynikające np. z Zielonego Ładu. Oceniane są bowiem publikacje jako cykl artykułów dokonanych badań a nie zamierzenia, których nie zrealizowano, choćby z braku dostępu do technologii w konkretnym czasie.

Choć oceniana rozprawa (Autoreferat i cykl publikacji) na pierwszy rzut oka wydają się być przygotowane poprawnie, to jednak przy uważnej lekturze można mieć uzasadnione uwagi co do stylu prowadzenia narracji, czy powtórzeń, co wynika z przyjętej koncepcji omawiania po kolei procesu metodyki, wyników i wniosków - a nie jak zwyczajowo, każdej publikacji oddzielnie. Poza błędami edycyjnymi i stylistycznymi (liczne zbitki) znajdują też pewne błędy czy niedostatki w zakresie znajomości systematyki klaso-użytków w podejściu geodezyjnym (tzw. katastru) i braku zagłębienia się w prawne trochę strony bazy Ewidencji Gruntów i Budynków (EGiB).

W artykule dość ogólnie cytowane są odniesienia do LPIS jako informacji katastralnej czy działek, nie pada jednak nigdzie w 4 artykułach ani Autoreferacie odniesienia do aktualnego stanu polskiej geodezji w zakresie aktualizacji warstwy użytków gruntowych (klaso-użytków). Autor pisze, wielokrotnie, iż analizowane przez niego sady są gruntami ornymi z roślinnością drzewiastą w sytuacji kiedy sady (symbol S) tak naprawdę są osobną klasą gruntów rolnych (wg Rozporządzenia Ministra Rozwoju Regionalnego i Budownictwa z dnia 29 marca 2001 r. w sprawie ewidencji gruntów i budynków). Grunty orne oznaczają się jako R (grunty rolne), lasy (grunty leśne) jako Ls. Wśród gruntów rolnych występują też grunty zadrzewione i zakrzewione na użytkach rolnych, oznaczone symbolem – Lzr. Są też w tej grupie (grunty rolne) nieużytki – N. Recenzent przytacza te informacje, gdyż byłyby one pomocne w analizach Doktoranta choćby na obszarze Nadleśnictwa Milicz. Tak się składa, że dla tego terenu istnieje wiele prac naukowych wykorzystujących potencjał fuzji danych ALS LiDAR oraz cyfrowych ortofotomap lotniczych i właśnie rozpatrujących sytuację aktualności stanu EGiB. Serdecznie polecam te artykuły może jeszcze przed obroną.

Zgłoszone powyżej uwagi krytyczne mają po części charakter edytorski czy stylistyczny, a te merytoryczne nie wpływają znacząco na ogólną naukową ocenę dysertacji jako całości. Część z uwag czy wprost zdefiniowanych pytań wymaga od Doktoranta jednak udzielenia odpowiedzi na etapie publicznej obrony pracy, co zostało zaznaczone przez recenzenta przy komentowaniu poszczególnych publikacji cyklu.

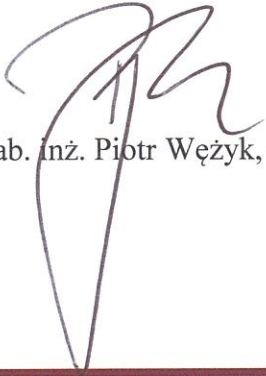
Konkluzja

Po przestudiowaniu włączonych do dysertacji czterech publikacji i pomimo kilku moich uwag, głównie co do stylu Autoreferatu, stwierdzam, że wkład Doktoranta w rozwój dyscypliny nauki leśne – w tym w teledetekcję lotniczą, a w szczególności w zakres fuzji obrazów hiperspektralnych i chmur punktów lotniczego skanowania laserowego (ALS LiDAR) – w aspekcie zwiększania ich pojemności informacyjnej na drodze synergii i generowanie nowych pochodnych służących określeniu zasięgu zbiorowisk o charakterze leśnym - **jest znaczący**.

W opublikowanych pracach naukowych stanowiących cykl, przeprowadzono wiele skrupulatnych eksperymentów nad wykorzystaniem fuzji obrazów HS i danych geometrycznych (ALS LIDAR), analizy samego obrazu (granulometria) oraz analiz przestrzennych GIS (np. otoczka wypukła), co może się z pewnością przyczynić w przyszłości do wykorzystania tej wiedzy w zakresie automatyzacji procesu klasyfikacji danych pozyskiwanych zdalnie (poziom BSP, lotniczy lub satelitarny) pod kątem monitorowania przemian klas pokrycia terenu (szczególnie tych wykazujących charakter lasów, zadrzewień lub biogrup).

Przedstawiona rozprawa składająca się z 4 publikacji oraz Autoreferatu **zawiera oryginalne rozwiązania istotnego problemu naukowego** tj. – wykorzystania fuzji danych teledetekcyjnych (ALS LiDAR oraz HS) oraz wykorzystania algorytmów z zakresu uczenia maszynowego do klasyfikacji i kartowania zbiorowisk roślinnych o charakterze leśnym. Wątpliwości recenzenta nie budzi wiedza Doktoranta z zakresu przetwarzania danych (LiDAR) oraz obrazów teledetekcyjnych (hiperspektralnych) w Dziedzinie nauki rolnicze – w dyscyplinie **nauki leśne**, szczególnie w aspekcie wdrażania technologii teledetekcyjnych do procesu automatycznego monitoringu teledetekcyjnego służącego celom raportowania statystyk pokrycia i użytkowania gruntów.

Tym samym stwierdzam, iż recenzowana przeze mnie rozprawa doktorska Pan mgr inż. **Tomasza Hyczy**, przygotowana pod opieką promotora - **Pana dr hab. inż. Krzysztofa Stereńczaka, prof. IBL**, spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim przez artykuł 13. Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (tekst ujednolicony w Dzienniku Ustaw z 2017 r., pozycja nr 1789) oraz artykuł 1. Ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające Ustawę Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dziennik Ustaw z 2018 r. pozycja nr 166) - w związku z czym **wnioskuję do Rady Naukowej Instytutu Badawczego Leśnictwa o dopuszczenie jej autora do dalszych etapów przewodu doktorskiego**.


dr hab. inż. Piotr Wężyk, prof. URK