

dr hab. inż. Piotr Wężyk

Kraków, dn. 14 stycznia 2018 r.

Instytut Zarządzania Zasobami Leśnymi
Zakład Urządzania lasu, Geomatyki i Ekonomiki Leśnictwa
Laboratorium Geomatyki
Wydział Leśny
Uniwersytet Rolniczy im. H. Kołłątaja w Krakowie
al. 29 Listopada 46
31-425 Kraków

Recenzja rozprawy doktorskiej

Pani mgr inż. Edyty Hadaś

pt.

Estymacja wybranych parametrów geometrycznych drzew uprawnych na podstawie danych lotniczego skaningu laserowego

Formalną podstawą sporządzenia tej recenzji jest pismo (numer IDDD0000.40000.310.2017) Dziekana Wydziału Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, Pana prof. dr hab. inż. Bernarda Kontny z dnia 24.11.2017 roku. W niniejszym piśmie zostałem wskazany jako recenzent w przewodzie doktorskim Pani mgr inż. Edyty Hadaś pt. "*Estymacja wybranych parametrów geometrycznych drzew uprawnych na podstawie danych lotniczego skaningu laserowego*" i na tej podstawie dokonałem recenzji, którą niniejszym przedkładam.

Struktura rozprawy

Zgodnie z Art. 13.1 pkt. 2 Ustawy z dnia 18 marca 2011 r. o zmianie ustawy - *Prawo o szkolnictwie wyższym, ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki oraz o zmianie niektórych innych ustaw*; Dz. U. 2011 nr 84 poz. 455) - *Rozprawa doktorska może mieć formę (...) spójnego tematycznie zbioru artykułów opublikowanych lub przyjętych do druku w czasopismach naukowych (...)*. Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska Pani mgr inż. Edyty Hadaś, w rozumieniu recenzenta stanowi taki właśnie spójny tematycznie zbiór trzech artykułów opublikowanych w języku angielskim, które ukazały się w czasopismach naukowych w roku 2015, 2016 oraz 2017. Spójny cykl artykułów stanowią więc:

1. Hadaś E., 2015. *An overview of methods for tree geometric parameter estimation from ALS data in the context of their application for agricultural trees*. Acta Scientiarum Polonorum, s. Geodesia et Descriptio Terrarum, Vol. 14 (3-4), pp. 5-28.
2. Hadaś E., Estornell J., 2016. *Accuracy of tree geometric parameters depending on the LiDAR data density*. European Journal of Remote Sensing, Vol. 49 (1), pp.73-2.
3. Hadaś E., Borkowski A., Estornell J., Tymków P., 2017. *Automatic estimation of olive tree dendrometric parameters based on airborne laser scanning data using alpha-shape and principal component analysis*. GIScience & Remote Sensing, online, pp. 1-20

Pierwszy artykuł opublikowany zostały w *czasopiśmie Acta Scientiarum Polonorum, s. Geodesia et Descriptio Terrarum*, które zgodnie z Komunikatem Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego w sprawie wykazu czasopism naukowych na rok 2015 znajduje się na Liście B (8 pkt.; Numer ISSN 1644-0668).

Drugi artykuł został opublikowany w *czasopiśmie European Journal of Remote Sensing* w dniu 13.01.2016 roku (praca złożona 12.05.2015 r.; dostępny on-line 17.02.2017 r.) w dobrym czasopiśmie, indeksowanym przez Journal Citation Reports (JCR), posiadającym Impact Factor na poziomie 1.533 pkt. (Lista A - MNiSW; 15 pkt.).

Trzeci artykuł stanowiący trzon spójnego cyklu opublikowano w *czasopiśmie GIScience & Remote Sensing* (pracę złożono: 05.02.2017, zaakceptowano 30.06.2017 i udostępniono on-line w dniu 11.07.2017 roku) indeksowanym bardzo wysoko IF = 3.049. (Lista A MNiSW = 30 pkt.).

Doktorantka jest jedynym autorem tylko w pierwszej publikacji (100% udziału) stanowiącym spójny cykl, a w pozostałych jest współautorem z zadeklarowanym udziałem na poziomie 70%.

Streszczenie rozprawy doktorskiej przedstawione zostało w języku polskim oraz angielskim w Autoreferacie (liczą po 8 stron). Do niego dołączone zostały załączniki, na które składają się kopie ww. 3 publikacji. Do dokumentacji dołączono także płytę CD z plikiem w formacie PDF zawierającym Autoreferat oraz 3 publikacje.

Charakterystyka i znaczenie rozwiązywanego problemu naukowego

Lotnicze skanowanie laserowe (*ang.* Airborne Laser Scanning; ALS) jest niezmiernie dynamicznie rozwijającą się dziedziną geoinformacji (zwaną coraz częściej Geomatyką), zarówno w zakresie innowacyjnych badań naukowych jak i wdrożeń aplikacji do praktyki. Ta aktywna technologia teledetekcyjna zaliczana do grupy szerzej nazywanej LiDAR (*ang.* Light Detection and Ranging), stała się swego rodzaju nowym paradygmatem w nauce i praktyce pomiarowej. Wykorzystywane w technologii ALS promieniowanie

elektromagnetyczne, w postaci energii lasera, pozwala w bardzo precyzyjny sposób określać odległość od urządzenia skanującego zamontowanego na statku powietrznym (np. samolot, śmigłowiec czy dron) do obrazowanego obiektu. Odbywa się to na podstawie pomiaru czasu wędrowki światła do i od obiektu oraz danych o położeniu samego skanera (urządzenie wysyłające i zbierające impulsy odbite). Zintegrowane ze sobą technologie nawigacyjne: GNSS (*ang.* Global Navigation Satellite System) oraz inercyjne IMU (*ang.* Inertial Measurement Unit) tworzące tzw. system INS (*ang.* Inertial Navigation System), w połączeniu z ogromną wydajnością generowania impulsów przez skaner – powodują, iż technologia ALS stała się niemal bezkonkurencyjna w zakresie pozyskiwania precyzyjnych informacji geometrycznych o obiektach 3D (budynki, infrastruktura, modele wysokościowe, lasy, pojedyncze drzewa itp.). O ile początkowo technologia ALS wykorzystywana była tylko do generowania numerycznych modeli wysokościowych, w tym głównie Numerycznego Modelu Terenu (NMT), tak obecnie, dzięki nowym generacjom skanerów działających w oparciu o zapis tzw. pełnej fali (*ang.* full-waveform) pojawiają się nowe możliwości zastosowań technologii ALS. Zdolność penetracji wiązki lasera przez poszczególne warstwy roślinności wysokiej, średniej i niskiej oraz fakt docierania plamki światła do gruntu, daje technologii ALS ogromną przewagę nad tradycyjnymi zdjęciami lotniczymi (nawet cyfrowymi) i opracowaniami fotogrametrycznymi w tym zakresie. Nie bez znaczenia są nowe możliwości technologiczne oferowane przez skanery wielospektralne korzystające np. z niezależnych od siebie laserów o różnych długościach fali, w tym w zakresie światła zielonego (np. model TITAN Optech). Ten zakres umożliwia m. in. penetrację wód przybrzeżnych co wykorzystywane jest przez skanery batymetryczne do mapowania dna rzek i wód przybrzeżnych.

W sytuacji pozyskiwania precyzyjnych informacji 3D o obiektach na podstawie analiz chmur punktów ALS, okazuje się, iż kluczowe znaczenie mają zazwyczaj parametry: gęstość chmury punktów na jednostce powierzchni, numer/kolejność/liczba/stosunek ech sygnału a czasem nawet intensywność odbicia światła lasera. Szczególnie ten pierwszy wskaźnik odpowiada za możliwość precyzyjnego wskazania zasięgu obiektu jak np. krawędzi dachów budynków czy zasięgu korony drzewa. O ile wyznaczenie wektorów kalenic dachów nie przysparza wielkich trudności, nawet przy stosunkowo niskiej gęstości chmury (wykorzystuje się algorytmy do detekcji powierzchni planarnych i na podstawie ich przecięć generuje się te linie), to tzw. segmentacja koron drzew (określanie zasięgu korony pojedynczego drzewa) wciąż jest przedmiotem badań naukowych i towarzyszących mu poszukiwań nowych wydajnych i inteligentnych algorytmów. Charakter pozyskiwania danych i właściwości fizyczne sygnału lasera powodują, iż dokładność określenia położenia obiektu w przestrzeni 3D na podstawie chmury punktów ALS jest kilkukrotnie lepsza w pionie (rzędna Z) niż w poziomie (rzędne płaskie XY). Jest to całkowicie odwrotna sytuacja niż w pomiarach GNSS (zwykle obiektów referencyjnych), ale wynika z faktu niewystarczającej ilości punktów (echa sygnału odległe od siebie o wiele dcm) wyznaczających krawędzie obiektu. Problem ten wynika też częściowo z łączenia poszczególnych szeregów skanowania i nadawania georeferencji chmurze punktów ALS na podstawie pomiarów bezpośrednich w terenie (np. przeciwległych płaszczyzn dachów

metoda GNSS RTK i tachimetru bezlusterowego). Uwarunkowania te powodują, iż cyfrowe zdjęcia lotnicze wykonywane obecnie z rozdzielczością terenową kilku cm (np. 5 cm) mogą na poważnie konkurować w zakresie pozyskiwania precyzyjnych danych (wektory 3D, lokalizacje obiektów) np. o budynkach czy pojedynczych drzewach (uprawy, zieleń miejska, inwentaryzacje drzew wzdłuż dróg i linii kolejowych i in.). Wciąż jednak poważnym ograniczeniem w przypadku lotniczej fotogrametrii cyfrowej (bądź fotogrametrii na bazie UAV) jest czasochłonność i związana z tym kosztochłonność pracy operatora wektoryzującego obiekty na stereogramach. Niewątpliwie ogromną pomocą stają się coraz lepsze i szybsze algorytmy do tzw. pasowania obrazów (*ang.* stereomatching; algorytmy np. SGM - Semi Global Matching czy SfM - Structure for Motion), dzięki którym generowane są bardzo gęste chmury punktów pozwalające na wymodelowanie Numerycznego Modelu Pokrycia Terenu (NMPT) a w konsekwencji tzw. prawdziwej ortofotomapy (*ang.* true orthophoto). Zdjęcia lotnicze mają jednak swoje ograniczenia, choćby są zależne od samych warunków oświetleniowych, co w zasadzie jednak aktywnej technologii ALS nie dotyczy. Poważniejszym ograniczeniem wydaje się być brak możliwości generowania chmur punktów na gruncie w obszarach z roślinnością wysoką czy średnią a nawet niską o bardzo dużym zwarcie poziomym (np. zwarcie koron drzew). Również ogromny wpływ na pracę algorytmów pasowania obrazu ma okres wegetacji czyli obecność aparatu asymilacyjnego w koronie drzewa zależna w przypadku gatunków liściastych (u iglastych z wyjątkiem Md). Brak ulistnienia poważnie ogranicza generowanie chmur punktów a w konsekwencji modeli trójkątowych (TIN, mesh) koron drzew. W tej sytuacji metody pasowania zdjęć stają się nie tyle konkurencyjne, co komplementarne (czyli uzupełniające) w stosunku do chmur punktów ALS pozbawionych informacji radiometrycznych (poza intensywnością odbitego sygnału najczęściej w zakresie NIR). Łączenie tych dwóch technologii wydaje się być rozwiązaniem ograniczeń obu rozwiązań metodycznych również w obszarach rolnictwa precyzyjnego czy leśnictwa, gdzie informacja na temat detekcji gatunku czy stanu zdrowotnego roślin (upraw, drzew, krzewów) oraz parametry biometryczne - są na równi ważne w procesie podejmowania decyzji o zabiegach (np. zbiór plonów, opryski, pielęgnacje). Systemy wspomagające zarządzanie (*ang.* DSS) uprawami np. rolniczymi (w tym i sadami) będą coraz częściej implementowane na platformach integrujących wielo-źródłowe i wielo-skalowe dane: geometryczne (np. katastralne), obrazowe (np. zobrazowania hiperspektralne UAV czy satelitarne VHRS), chmury punktów 3D (ALS, MLS, TLS czy HLS), opisowe (domeny atrybutowe baz danych np. o plonach w poprzednich latach), pomiarowe z sensorów terenowych (np. temperatura czy wilgotność gleby) czy odbiorników GNSS. Zasilanie dużych zbiorów danych określanych wspólnie jako Big Data realizowane będzie niebawem poprzez wykorzystanie autonomicznych systemów (robotów). To one też będą wykonywać czynności zdefiniowane na podstawie analiz zgromadzonych danych i analiz trendów (np. klimatycznych). Aby roboty mogły poruszać się sprawnie po obszarach upraw rolniczych w celu podjęcia odpowiednich zadań (np. przycinanie pędów, zbiór owoców) niezbędne jest odpowiednio szczegółowe ich skartowanie (czyli mapowanie - z języka angielskiego mapping) polegające na precyzyjnym zdefiniowaniu geometrii 3D obiektów i samego terenu. Stąd właśnie

technologie skanowania laserowego a w szczególności ALS (bądź ULS; Unmanned Laser Scanning z poziomu BSP) mają zdecydowaną przewagę nad pozostałymi tradycyjnymi metodami pomiarowymi tzw. machine vision (MV). Cechy biometryczne upraw rolniczych, w tym drzew i krzewów w sadach i na plantacjach, są także bardzo ważnym elementem zasilającym modele matematyczne optymalizujących zbiory plonów lub predykcji zagrożeń biotycznych (przenoszenie się szkodników owadów między drzewami) czy abiotycznych (wnikanie wiatru czy bezpośredniego światła słonecznego na pniach drzew). Efektywność prac i wydajność plonów przy jednoczesnym spadku stosowania herbicydów to wyzwania dla globalnego rolnictwa, które w 2050 roku będzie musiało wyżywić 9.6 mld ludzi. Wszystkie przytoczone powyżej argumenty świadczą o zwiększającej się potrzebie projektowania i implementowania algorytmów działających w trybie automatycznym, a w kolejnym etapie autonomicznych robotów (zarówno do nawigacji jak i wykonywania prac) w obszarach rolnictwa precyzyjnego w celu obniżenia kosztów prac i przyspieszenia procesu produkcji wraz z jego optymalizacją (np. dobór wielkości drzew do odpowiednich maszyn i odwrotnie) i zmniejszeniem kosztów środowiskowych (np. irygacji).

Omówienie prac składających się na spójny cykl artykułów

Pierwsza praca w przedłożonym cyklu: **Hadaś E., 2015. *An overview of methods for tree geometric parameter estimation from ALS data in the context of their application for agricultural trees.*** Acta Scientiarum Polonorum, s. Geodesia et Descriptio Terrarum, (Vol. 14 (3-4), pp. 5-28) ma charakter typowo przeglądowy i skupia się przede wszystkim na omówieniu poznanych już metod przetwarzania chmur punktów ALS w celach detekcji pojedynczych drzew, wyznaczenia zasięgu ich korony oraz określenia wybranych cech biometrycznych w oparciu o dane 3D pochodzące z lotniczego skanowania laserowego (ang. ALS - Airborne Laser Scanning). Autorka Autoreferatu analizuje możliwość wykorzystania istniejących już dla obszarów leśnych metod detekcji drzew i określania ich wybranych cech/parametrów biometrycznych. W obszarze metod identyfikacji wierzchołków koron drzew wskazano m.in. na algorytm lokalnego maksimum oraz minimalnych krzywizn, które stosuje się zwykle na rastrowym modelu wysokościowym NMPT (ang. DSM - Digital Surface Model) ale w tym jednak konkretnym przypadku na znormalizowanym modelu (wartości wysokości względnej) określanym jako MKD (pl. Model Koron Drzew; ang. CHM - Crown Height Model).

Najczęściej w obu metodach stosuje się filtr dolnoprzepustowy Gaussa co ma doprowadzić do usunięcia lokalnych artefaktów w koronach (w celu uniknięcia detekcji kolejnych podkoron jako wierzchołków). Wygładzenie generowanego modelu MKD może jednak prowadzić w przypadku koron drzew iglastych (np. świerka) do sztucznego zaniżania wartości wysokości modelu. Autorka zwraca też uwagę na inne metody działające bez filtracji, które nie znajdują jednak szerszego zastosowania w praktyce.

W kolejnym kroku Autorka przechodzi do omówienia algorytmów służących do wyznaczenia zasięgu korony drzewa, dla którego zidentyfikowano już jego wierzchołek. Wymienia tu wśród metod 2-D: algorytm rosnących regionów (ang. region growing), transformację wododziałową (ang. watershed transformation) oraz algorytm opadowy (ang. pouring algorithm) omawiając zalety i wady każdej z nich w oparciu o wyniki publikacji

naukowej. Do metod segmentacji koron z tzw. zakresu 3-D zalicza autorka: przestrzeń wokseli (ang. voxel space) oraz metodę k-średnich (ang. k-means approach). Dla nich również autorka wskazuje na ograniczenia i skuteczność poszczególnych metod omawiając też ich pewne modyfikacje.

W kolejnym rozdziale pracy autorka opisała metody określania wybranych parametrów biometrycznych drzew, takich jak: wysokość wierzchołka, wysokości podstawy korony, średnicy oraz objętości korony. Wskazuje przy tym na możliwości szacowania wybranych cech czy wcześniej klasyfikacji chmur punktów metodą tzw. lasów losowych (ang. RF; Random Orest) wykorzystującą założenia regresji nieparametrycznej oraz dane referencyjne zebrane w terenie.

W rozdziale nt. wysokości drzew autorka dokonuje przeglądu literatury pod kątem osiągniętych przez autorów dokładności uzyskiwania tej cechy z wykorzystaniem danych ALS. Podkreśla istotę wielkości plamki lasera dla zwartych drzewostanów i bardzo wysoki współczynnik korelacji ($R^2=99$) w stosunku do danych referencyjnych.

Dla wysokości podstawy korony RMSE autorka nie cytuje uzyskiwanych dokładności ale wskazuje na stosowane metody wyznaczania nasady korony jako np. największych zmian w wartościach decyli. Dla pozostałych cech takich jak średnica i objętość prezentuje po kilka publikacji omawiających stosowane metody bez szczegółowego podawania wyników. Część z tych wyników i błędów omawiane jest zbiorczo w rozdziale "Jakość wyników".

Przedostatnią część publikacji stanowi przegląd publikacji dotyczących aplikacji w rolnictwie ze szczególnym uwzględnieniem danych ALS a nawet projektów dotyczących określania cech drzew oliwnych. Autorka wspomina także o danych ALS *full waveform* i wysokich korelacjach pomiędzy danymi referencyjnymi a uzyskiwanymi z analiz chmur punktów ALS.

Doktorantka na podstawie wyników badań innych autorów stwierdza, iż dokładniejsze wyniki z zakresie detekcji pojedynczych koron uzyskuje się dla grupy drzew iglastych, co zawdzięczają one przede wszystkim stożkowatym kształtom. Zwraca też uwagę, iż zwiększanie gęstości chmur punktów ALS nie wpływa znacząco na wyniki detekcji koron.

W aspekcie generowania modeli wysokościowych MKD (CHM) wielkość oczka wynikowego powinna być odpowiednio dopasowana do gęstości chmur punktów ALS. Na każdym kroku analiz wymagana jest jednak szeroka wiedza ekspercka nt. upraw i gatunków a przede wszystkim oczekiwanych dokładności parametrów biometrycznych.

Na podstawie dokonanego przeglądu 105 prac literaturowych autorka stawia hipotezę o możliwości implementacji metodyki bazującej na chmurach punktów ALS stosowanej w leśnictwie w procesie inwentaryzacji sadów przy jednoczesnej kontroli poziomu dokładności wybranych parametrów biometrycznych drzew uprawnych.

Druga praca w przedłożonym cyklu autorstwa: **Hadaś E. i Estornell J. (2016), pt. Accuracy of tree geometric parameters depending on the LiDAR data density.** European Journal of Remote Sensing, Vol. 49 (1), pp. 73-92 koncentruje się na porównaniu i analizie dokładności zautomatyzowanego procesu określania wybranych cech biometrycznych drzew oliwnych (w prowincji Castellon) w odniesieniu do parametru gęstości trzech zestawów chmur punktów ALS pochodzących z dwóch różnych nalotów LiDAR z roku 2009 oraz 2012. Pierwszy testowany zestaw charakteryzował się gęstością 0.5 pkt/m^2 a drugi zestaw 4.0 pkt/m^2 (a w zasadzie 3.5 pkt/m^2) natomiast ostatni wydzielono w obszarze pokrycia

poprzedniego szeregów nalogu drugiego o finalnej gęstości 9.0 pkt/m². Dodatkowo za dane referencyjne o położeniu koron drzew uznano także cyfrowa ortofotomapę lotniczą CIR o rozdzielczości terenowej (ang. GSD) wynoszącej 0.5 m. Błąd rzędnej wysokościowej (Z) wygenerowanego modelu NMT określono w oparciu o przeprowadzone próbkowanie w 62 lokalizacjach wykorzystując w tym celu odbiornik GPS pracujący w trybie pomiaru RTK. Zestaw danych referencyjnych stanowiło 25 drzew oliwnych, dla których tradycyjnymi metodami pomierzono ich wybrane parametry biometryczne. Drzewa o numerach 1 do 13 zlokalizowano w obszarze pokrycia poprzedniego (tzw. ang. "overlap") szeregów nalogu (gęstość 9.0 pkt/m²).

Autorzy zaproponowali 2 strategie (A i B) do określenia kształtu obrysu tworzonego przez rzut pionowy korony drzewa na płaszczyznę poziomą oraz powierzchni 2-D tworzonej tego poligonu. Pierwsza strategia (A), którą autorzy nazwali „raster” - bazowała na analizie znormalizowanego wysokościowego modelu rastrowego MKD (Model Koron Drzew). W celu wyeliminowania oczek siatki MKD reprezentujących grunt i niską roślinność zastosowano technikę progowania (< 0.5 m) co w szybki sposób prowadziło do wizualizacji pojedynczych izolowanych od siebie koron drzew oliwnych.

Druga strategia (B) przetwarzania danych została przez autorów zdefiniowana jako „raw” i bazowała ona wprost na znormalizowanej chmurze punktów ALS. Zasięg korony wyznaczano metodą otoczki wypukłej tworzonej na podstawie punktów zlokalizowanych w strefie buforowej wokół wcześniej zdefiniowanych wierzchołków drzewa (środków koron; centroidów poligonu). W kolejnym kroku na podstawie chmur punktów ALS ograniczonych poligonem tożsamym z zasięgiem korony drzewa określano parametry wybrane biometryczne drzew oliwnych, tj.: wysokość drzewa, wysokość podstawy korony, wartość maksymalnej średnicy korony oraz prostopadłej do niej (w celu wyznaczenia średniej) oraz powierzchnię 2-D rzutu korony.

W ten sposób łącznie dla dwóch strategii ("raster" oraz "raw") analizujących zestaw danych ALS o gęstościach 3.5 oraz 9.0 pkt/m² - uzyskano cztery wersje wyników. Dokonano ich porównania z danymi referencyjnymi z terenu posługując się miarami i testami statystycznymi (np. testem Kolmogorov-Smirnov'a do sprawdzenia normalności rozkładu). Analizie poddano hipotezę czy na dokładność uzyskiwanych wyników wpływa określony rodzaj strategii (A - "raster"; B - "raw") oraz nominalna gęstość danych ALS lub też wielkość samego drzewa. Wyniki wykazały, iż niezależnie od przyjętej strategii opracowania oraz gęstości nominalnej chmury punktów ALS, określany parametr wysokości drzew oliwnych był niedoszacowany (dokładności na poziomie -1.48 m zestaw 3.5 pkt/m² oraz -0.72 m dla zestawu 9.0pkt/m² przy odch. std. na poziomie ok. 0.3 m).

Z kolei wysokość podstawy korony została przeszacowana (analogiczne dokładności jak dla wysokości korony; wyniki na poziomie +0.60 m dla obu strategii: A i B). Autorzy upatrują przyczynę takiej sytuacji w nierównomiernym rozmieszczeniu odbić wiązki lasera wewnątrz korony drzewka oliwnego oraz małym prawdopodobieństwem odbicia lasera od wierzchołka drzewa i skrajnych gałęzi, szczególnie w sytuacji zestawu danych o niskiej gęstości skanowania. Stwierdzono też, iż wyniki uzyskane z przetworzeń chmury punktów o gęstości 9.0 pkt/m² okazały się być mniej obciążone błędem. Co interesujące, największe różnice pomiędzy wynikami dla 2 testowanych zestawów ALS zauważalne były dla parametru: wysokość drzewa oraz wysokość podstawy korony, jednak wybór strategii przetwarzania chmury nie miał w zasadzie znaczenia w tym przypadku.

Odmienne wnioski na temat wpływu strategii (A lub B) na wynik końcowy można było wyciągnąć w przypadku określania powierzchni 2-D rzutu korony oraz średniej wartości

średnicy korony drzewa. Najlepsze wyniki osiągnięto stosując strategię „raw” i chmur punktów dużej gęstości (9.0 pkt/m²). Nie sprawdziła się ona jednak w przypadku chmur ALS o niskiej gęstości (3.5 pkt/m²). Strategia zwana „raster” pozwoliła natomiast na uzyskanie poprawnych wyników bazując na obu zestawach o różnej gęstości.

Strategia „raw” przyjęta w opracowaniu gęstego zbioru punktów ALS pozwoliła uzyskać dokładności submetrowe w przypadku parametru "średnica korony drzewa".

Autorzy poddali też szczegółowej analizie rozkład poziomy i pionowy punktów tworzących chmury wewnątrz koron pojedynczych drzew. Dla najbardziej gęstego zestawu ALS, około 70% punktów znajdowała się pomiędzy 30% a 60% odcinka reprezentującego wysokość względną. Dla rzadkiej chmury punktów ALS około 70% odbić ułożone jest w obszarze 25-50% wysokości względnej. Autorzy upatrują przyczyny takiej sytuacji ze względu na większą gęstość gałęzi i ich większe rozmiary wewnątrz korony drzewa niż na jej zewnętrznej sferze.

W przypadku chmur punktów o stosunkowo niskiej gęstości (3.5 pkt /m²) błędy wyznaczenia omawianych cech biometrycznych drzew przekraczały wartość 1.0 metra. Autorzy udowodnili też postawioną sobie hipotezę, iż dokładność określanych parametrów biometrycznych nie zależy od wielkości (wielkość średnicy pnia) samego drzewa, przy czym pewien wyjątek stanowi tu parametr "wysokość podstawy korony drzewa" w sytuacji użycia chmur punktów ALS o niskiej gęstości (3.5 pkt/m²). Wyniki dla podstawy korony drzewa w przypadku dużych drzew (średnica pnia > 40cm) były obciążone mniejszym błędem niż w przypadku drzew małych (średnica pnia < 25 cm).

Trzecia praca spójnego cyklu publikacji: **Hadaś E., Borkowski A., Estornell J., oraz Tymków P. (2017), pt. *Automatic estimation of olive tree dendrometric parameters based on airborne laser scanning data using alpha-shape and principal component analysis***. GIScience & Remote Sensing prezentuje autorską metodę nazwaną AS&PCA (Alfa Shape & Principal Component Analysis) służącą określaniu wybranych cech biometrycznych drzew oliwnych. W swoim założeniu metoda ta miała być jak najdalej zautomatyzowana, a parametry stosowane w algorytmach miały się dopasowywać na podstawie zgromadzonych danych referencyjnych (próbka ucząca). Metoda proponowana przez autorów opiera się na określeniu przebiegu poligonu reprezentującego zasięg korony drzewa przy użyciu algorytmu znanego pod nazwą α -shape (będący granicą otoczki alfa czyli uogólnionej otoczki wypukłej ang. convex hull), którego działanie oparte na triangulacji Delaunay - sterowane jest tylko jednym parametrem (α) bez potrzeby identyfikacji poszczególnych drzew. Proces tworzenia otoczki alfa poprzedza etap odfiltrowania punktów ALS przynależących do aproksymowanej powierzchni NMT oraz dalej normalizacją chmury punktów ALS (w oparciu o powierzchnię NMT).

Autorzy po określeniu zasięgu korony drzewa przystąpili do wyznaczenia jego wybranych cech biometrycznych, tj.: wysokości drzewa (traktują ją jako wartość najwyższego punktu Z_{\max} wewnątrz podzbioru obrysu korony); wysokości podstawy korony (traktują ją jako najniższy punkt wewnątrz obrysu korony); średnic korony (na podstawie analizy PCA na rzędnych płaskich XY punktów z chmury ALS znajdujących się w podzbiorze korony); powierzchni korony 2-D (powierzchnia poligonu zasięgu korony drzewa).

W pracy wykorzystano chmury punktów ALS o średniej gęstości 4 pkt/m², pozyskane w 2012 roku dla tego samego obszaru sadu oliwnego prezentowanego w drugiej pracy omawianego cyklu (gęstość w zasadzie 3.5 pkt/m²).

Autorzy poddali analizie jak dobór parametru α wpływa na wartości określanych parametrów biometrycznych drzew. Stwierdzono, iż w pewnym przedziale wartości parametru α , kształt generowanego poligonu reprezentującego zasięg korony drzewa, a w konsekwencji i wartości określanych parametrów biometrycznych, nie różnią się bardzo od siebie. Stwierdzono, iż przyjęcie zbyt małej wartości parametru α (np. $\alpha = 0.4$) prowadzi do agregacji obrysów pojedynczych drzew w jeden duży poligon. Jednocześnie zbyt duża wartość parametru α (np. $\alpha = 2.4$) prowadzi do powstawania błędów niewykrycia (pominięcia) koron oraz generowaniem podkoron w obrębie większych koron pojedynczych drzew. Na podstawie zebranych tradycyjnymi metodami danych referencyjnych sprawdzono skuteczność algorytmu przy odpowiednim doborze parametru α . Testowano zestaw danych w zakresie parametru α 0.10 do 2.5 w odstępach 0.05 stosując jednocześnie filtr wysokości względnej dla punktów ALS ($< 0.5\text{m}$) oraz przyjmując minimalną akceptowalną wielkość wynikowej korony na 0.5m^2 .

Wyniki jakie otrzymali autorzy wskazują, iż przy wartości parametru α w przedziale 1.15 do 2.15 otrzymywali tę samą poprawną liczbę drzew na zbiorze testowym. W pracy poszukiwano też odpowiedzi na optymalizację procesu poprzez dopasowanie parametru α w kontekście zbioru uczącego. Okazuje się, że już przy zastosowaniu próbki złożonej z 15 dowolnych drzew pomierzonych w terenie, można dobrać optymalną wartość parametru α (1.15 do 2.10; przy czym wartość $\alpha=1.8$ została uznana za optymalną), dla którego uzyskiwane wyniki określania cech biometrycznych były wysoko skorelowane z danymi referencyjnymi.

W celu określenia dokładności określenia cech biometrycznych drzew oliwnych autorską metodą AS&PCA, wykorzystano metodę walidacji krzyżowej. Cechy biometryczne dla każdego z 25 analizowanych drzew referencyjnych określano niezależnie, przy czym optymalizowano parametr α w oparciu o pozostałe 24 drzewa testowe. Otrzymane w ten sposób wyniki porównano do pomiarów referencyjnych oraz do uzyskanych w pracy Hadaś E., Estornell J. (2016). Accuracy of tree geometric parameters depending on the LiDAR data density. European Journal of Remote Sensing, Vol. 49 (1), pp. 73-92. Okazało się, iż zaproponowana autorska metoda AS&PCA oraz "raster" i "raw" prowadziły do otrzymania bardzo zbliżonych wyników dla parametru: wysokość drzewa oraz wysokość podstawy korony drzewa.

Zastosowanie odmiennego podejścia do strategii wyznaczania zasięgu korony drzewa spowodowało, iż pomiędzy porównywanymi metodami pojawiły się różnice w wynikach określania średnicy oraz powierzchni korony drzewa. Stosując metodę AS&PCA większa średnica korony była najczęściej obarczona błędem przeszacowania na poziomie 0.35 m ($R^2=0.86$), a krótsza średnica błędem 0.14 m ($R^2=0.89$). Określenie parametru średnicy korony (w zasadzie 2 średnic prostopadłych do siebie) metodą AS&PCA były jednak zbliżone do uzyskiwanych w podejściu "raw" przy czym tą pierwszą uzyskać można niewątpliwie bardziej realne obrysy koron o mniejszej powierzchni w stosunku do metody "raster" co wynika z koncepcji wektoryzacji pikseli o określonym rozmiarze. Duże różnice wykazano w przypadku określania średnic metoda "raster" (RMSE 1.33 m) w stosunku do AS&PCA (RMSE na poziomie 0.6 i 0.4m dla dłuższej i krótszej średnicy).

Średni błąd określenia wysokości drzew przy wykorzystaniu metody AS&PCA kształtował się jednak na zadziwiająco wysokim poziomie 19% (0.77 m dla wszystkich analizowanych drzew) oraz aż 53% (0.46 m) w przypadku parametru "podstawa korony drzewa", 13% dla większej średnicy korony i 19% dla średnicy prostopadłej.

Omówienie przedstawionej rozprawy

Autoreferat przedłożony przez Doktorantkę w postaci maszynopisu nie ma niestety wydzielonych wyraźnie rozdziałów a przynajmniej recenzent nie stwierdza, że są one ponumerowane a w dodatku połączone ze streszczeniem 3 artykułów stanowiących cykl. Taka sytuacja dziwi recenzenta ale być może jest to struktura pracy wypracowana na WIKŚiG UP we Wrocławiu, stąd recenzent nie podnosi tego jako przeszkody a jedynie utrudnienie w analizie całej rozprawy, w której Autoreferat stanowi część integralną.

Jako pierwszy rozdział Autoreferatu należy potraktować więc Wprowadzenie, w którym Doktorantka definiuje czym jest technologia skanowania laserowego opisuje podstawy działania komponentów systemu. Wymienia co prawda tylko 2 technologie ALS i TLS nie wspominając o innych współcześnie wyróżnianych kategoriach skanowania laserowego takich jak: MLS (ang. Mobile Laser Scanning), HLS (ang. Hand-held Laser Scanning) czy ULS (ang. Unmanned Laser Scanning). Recenzent celowo nie używa słowa "skaningu" - bo może być ono różnie rozumiane w polskiej literaturze naukowej od wielu lat stosuje się "skanowanie" zamiast "skaning".

W aspekcie różnej gęstości oferowanej przez systemy ALS doktorantka wspomina o skanerach wielospektralnych nie rozwijając jednak dalej tego wątku i nie wiadomo czy chodzi o większą liczbę plamek czy większe możliwości klasyfikacji ze względu na różne długości fali (tym samym różnice w intensywności echa sygnału rejestrowanego). Generalnie zadziwia recenzenta fakt, iż w tym rozdziale, ale i w całym pozostałym Autoreferacie, Doktorantka nie wprowadza żadnego cytowania literatury, przyjmując chyba, iż całkowicie wyczerpała już źródła w swoich 3 przedłożonych publikacjach? Można niestety odnieść takie wrażenie czytając Autoreferat, a szczególnie mało precyzyjne opisy jak o "cięciu i pomiarze kawałków drewna" czyli jak leśnik mógłby sądzić, chodzić ma o pomiar sekcyjny pnia w celu precyzyjnego określania objętości (miąższości) co jest przedmiotem dendrometrii. Doktorantka nie jest oczywiście leśnikiem z wykształcenia i z pewnością nie jest łatwo opanować fachowe słownictwo z tego zakresu, ale trudno zrozumieć co autorka dokładnie ma na myśli pisząc o wpływie rekultywacyjnym koron na glebę czy co rozumie pod hasłem parametry geometryczne drzew. Leśnicy, ogrodnicy czy arboryści raczej posługują się cechami taksacyjnymi (w przypadku inwentaryzacji lasu) co jednak w przypadku omawianego w cyklu prac - tj. gaju oliwnego - recenzent zamienił na pojęcie: cech biometrycznych drzew. Można by oczywiście stosować zwrot cechy dendrometryczne, te jednak kojarzą się przede wszystkim w pierwszej kolejności z miąższością pnia czy zapasem drewna i przyrostami drzew.

Kończąc dość skrótowe **Wprowadzenie**, niestety bez zacytowania jakiegokolwiek pozycji literaturowej, Doktorantka wspomina o swoim warsztacie programistycznym, wskazując na implementacje autorskiego rozwiązania stosowania algorytmów PCA oraz α -shape w programie Matlab. W przekonaniu recenzenta ten właśnie punkt użycia autorskiej metody w kodzie programu stworzonym przez Autorkę jest kluczowy.

Autorka słusznie wskazuje na problem badawczy, jakim jest implementacja w obszarach upraw rolniczych (sady, gaje oliwne) sprawdzonych algorytmów bazujących na chmurach punktów ALS stosowanych od wielu już lat w leśnictwie. Wynika to przede wszystkim z kształtów koron drzew iglastych, jakie były w pierwszej linii poddawane badaniom naukowym zanim objęto również bardziej skomplikowane (mniejsze dokładności detekcji drzew) lasy liściaste. Jednak inny sposób prowadzenia plantacji drzew sadowniczych (w tym przypadku oliwnych) poprzez utrzymywanie w zasadzie braku zwarcia koron drzew powinien rekompensować problemy detekcji zbyt wielu koron drzew w drzewostanach liściastych.

Kolejny przedstawiony w Autoreferacie rozdział nazwano Cel pracy, w którym definiuje wyraźnie postawione zadanie polegające na opracowaniu automatycznej metody jak pisze Doktorantka estymacji wybranych parametrów geometrycznych drzew uprawnych na podstawie danych lotniczego skaningu laserowego. W tym miejscu recenzent zastanawia się czy pojęcie estymacja zostało na pewno odpowiednio dobrane. Czy autorowi chodziło rzeczywiście o oszacowanie całej populacji na podstawie próby poznając rozkłady i wartości niektórych estymatorów takich jak błąd czy współczynnik determinacji - czy też jest to po prostu nie do końca odpowiednie tłumaczenie z języka angielskiego i chodziło o określenie danej cechy (np. zasięgu korony drzewa) automatyczną metodą. W przypadku bowiem tej cechy nie znalazł recenzent informacji w artykułach na temat ich wartości pomiarów referencyjnych a jedynie porównywano wzajemnie wyniki otrzymane zaproponowanymi metodami AS&PCA oraz "raster" i "raw". Słowo estymacja zdaniem recenzenta warto by zastąpić wyrazem określającym tak by nie kojarzono słowa estymacja z potocznie rozumianym - mniej dokładnym szacowaniem. Pomijając dyskusję na temat tłumaczenia zwrotów na język polski, recenzent zatrzymuje się nad założeniami czyli w zasadzie dwoma jasno postawionymi przez Doktorantkę hipotezami roboczymi pracy, które brzmią:

- *„Wiarygodne modelowanie geometrii drzew uprawnych możliwe jest już na podstawie danych ALS o małej liczbie punktów na metr kwadratowy,*
- *Wybrane metody i algorytmy stosowane w inwentaryzacji obszarów leśnych z wykorzystaniem lotniczego skaningu laserowego mogą być zaadoptowane i zmodyfikowane w taki sposób, aby możliwa była automatyczna inwentaryzacja poszczególnych drzew w sadzie”.*

Recenzent zastanawia się, co Doktorantka rzeczywiście rozumie pod pojęciem "małej liczby punktów na metr kwadratowy" i dlaczego nie wskazuje konkretnej wartości gęstości chmur punktów ALS jakimi dysponowała do realizacji swych prac. Czy chodzi o wartość 0.5 pkt/m² czy może 3.5 pkt/m² ? W wielu krajach europy wartości zbliżone do 1.0 pkt/m² traktuje się jako standard w wielko-powierzchniowych kampaniach ALS o zasięgu krajowym, a za dane o dużej gęstości uważa się już 4 pkt/m². Te wartości podane przez recenzenta są oczywiście bardzo względne i zależą od danego kraju czy projektu.

Drugie założenie dotyczące implementacji wybranych algorytmów stosowanych do przetwarzania chmur punktów ALS na obszarach leśnych do terenów sadów wydaje się już od samego początku zbyt oczywiste, stąd trudno do końca nazwać hipotezą rzecz wysoce

prawdopodobną. Pojęcie inwentaryzacji jest bardzo szerokie w leśnictwie bo obejmuje np. identyfikację gatunku drzewa, pomiar pierśnicy (średnicy pnia na wysokości 130 cm od gruntu), informacje o uszkodzeniach pnia itp., stąd lepiej byłoby je zawęzić aby uniknąć ewentualnych zarzutów wynikających wyłącznie z pewnej nieścisłości. Recenzent sugerowałby stosowanie jednak zwrotu typu: wybranych cech biometrycznych drzew oliwnych i ich zdefiniowanie.

Przechodząc dalej Doktorantka zamieszcza streszczenie w języku polskim 3 następujących po sobie prac stanowiących cykl, jakie recenzent omówił powyżej, po czym następuje rozdział: **Podsumowanie, wnioski i dalsze prace**. W tej części referatu Doktorantka trochę nieszczęśliwie umieszcza wprowadzenie do 3 streszczonych wcześniej prac stanowiących cykl publikacji. Omawia co w każdej z nich się znajduje oraz dyskutuje pewne fragmenty, z którymi recenzent nie może się do końca zgodzić. Doktorantka stwierdza bowiem, iż metoda AS&PCA pozwala osiągnąć rezultaty o *"dokładnościach zbliżonych do wyników uzyskiwanych dzięki innym powszechnie stosowanym metodom dla obszarów leśnych"*. Recenzent chciałby zwrócić uwagę, iż przeważająca ilość znanych mu publikacji naukowych wskazuje na wartości niedoszacowania wysokości drzew leśnych na poziomie 1.0-3.0% przy współczynniku determinacji $R^2=0.96$ w stosunku do danych pozyskiwanych metodami tradycyjnymi. W przypadku prac stanowiących cykl autorka osiąga wynik błędu RMSE określenia wysokości drzew oliwnych na poziomie aż 19% i to przy bardzo niskiej wartości $R^2=0.53$. O ile proporcje długości korony do wysokości drzew leśnych (np. sosny) są inne niż w przypadku drzew owocowych, to dziwi tak duży błąd określenia wysokości drzewa w pracach doktorantki. Być może jest to spowodowane dużą ażurowością koron drzew oliwnych albo też niedokładnością pomiarów terenowych, dość lakonicznie opisanych przez autorów publikacji. Nie podają oni bowiem szczegółów ani nazw stosowanych urządzeń np. wysokościomierzy, a wspominają jedynie o tradycyjnie stosowanych w lasach: taśmie mierniczej (skalibrowanej do pierśnicy pnia; ang. diameter type) czy o tyczce (ang. metric pole) umożliwiającej uzyskanie cm dokładności pomiarowych. Recenzent, który pomierzył wiele tysięcy drzew w swoich badaniach naukowych ma podstawy wątpić w tego typu dokładność. Niewątpliwie bezdyskusyjnymi danymi referencyjnymi byłyby dane z naziemnego skanowania laserowego lub choćby hipsometrem typu Vertex IV (Haglof). Pomiar tyczką wysuwaną na wysokość 4.48 m (taką podają autorzy wysokość maksymalną drzewa) mógł być na tyle subiektywny i niedokładny, iż przyczynił się do uzyskania tak dużych różnic w stosunku do chmur punktów ALS. Recenzent chętnie pozna więcej szczegółów na temat prac terenowych.

Recenzenta, dziwi trochę fakt, iż autorzy nie przetestowali w swoich badaniach miary tzw. 95-tego lub 97-tego percentyla wysokości znormalizowanej chmury punktów. Ta miara p95 uznawana jest w leśnej literaturze światowej za odpowiadającą wysokości górnej drzewostanu (np. wysokości 100 najgrubszych drzew). Tego typu wyniki dotyczące wysokiego współczynnika determinacji pomiędzy p97 chmury punktów a wysokością drzew publikowane są także w Polsce od początku realizacji licznych projektów z wykorzystaniem ALS w PGL Lasy Państwowe (od 2006 roku) czy uruchomienia dystrybucji danych z projektu ISOK (GUGiK). Doktorantka w swojej publikacji będącej przeglądem literaturowym (rok

2015) nie wymienia ani wyników badań, ani żadnego polskiego zespołu czy ośrodka badawczego zajmujących się intensywnie od ponad 11 lat tematyką wykorzystania chmur punktów ALS w leśnictwie. Stawia to polską naukę i samego recenzenta w dużym zakłopotaniu, ale oczywiście nie jest to podstawowy zarzut a jedynie uwaga ze warto znać osiągnięcia badawcze z własnego kraju.

Czytając dalej Autoreferat w rozdziale **Wnioski** natrafiamy znów na efekty przedłożonej pracy doktorskiej wcześniej zdefiniowanymi jako **Założenia** - czyli w rozumieniu recenzenta hipotezy robocze. Należałoby w tym miejscu jasno stwierdzić czy potwierdzono czy też obalono hipotezę badawczą. Recenzent zastanawia się, czy trafnie użyto stwierdzenia *oryginalny algorytm automatycznego szacowania parametrów* (..) Chodzi o fakt, czy alfa shape oraz PCA są oryginalnymi algorytmami doktorantki (i jej 3 współautorów) czy też chodziło o zastosowanie autorskiej oryginalnej metody z użyciem dostępnych algorytmów. Myślę, że właśnie jest to ten drugi wariant i w niczym to nie ujmuje wysiłkom Doktorantki, która potrafiła zaimplementować znane z innych zakresów nauk algorytmy (jak PCA np. z teledetekcji) w swoich skryptach.

Doktorantka nie określa też wprost co uznaje za "dane ALS o stosunkowo małej gęstości". W przekonaniu recenzenta ciekawym poszerzeniem badań było by stworzenie zubożonych losowo zestawów chmur punktów ALS i testowanie na nich tych samych algorytmów. Upoważniałoby to do znalezienia i potwierdzenia granicznej liczby gęstości punktów ALS, które gwarantują jeszcze uzyskanie poprawnego i akceptowalnego wyniku.

Recenzent w zasadzie nie znajduje w Autoreferacie żadnych wniosków poza stwierdzeniem odnoszącym się do stosowania dronów (BSP) w aspekcie bardziej ekonomicznego pozyskiwania chmur punktów. Doktorantka jednak wprost nie definiuje o jaką chmurę chodzi, czy o popularnie w ostatnich latach stosowane metody SfM (Structure for Motion) czy też o skanowanie laserowe z dronów (ULS). W tym drugim przypadku cena jednostkowa platformy UAS (Unmanned Airborne System) wraz ze skanerem kosztować może co najmniej 40.000 USD, więc trudno ocenić czy faktycznie jest to ekonomiczne w sytuacji np kosztów pozyskania danych projektu ISOK, które kształtowały się na poziomie około 100 USD za 1 km² opracowania (dystrybucja danych około 4.0 PLN za 1 km²). O ile planowanie rozszerzenia swoich badań o platformy UAS ze skanerem laserowym wydają się być bardzo interesujące to nie mają one w zasadzie wiele wspólnego z ocenianą dysertacją, w której nie są one przedmiotem analizy czy dyskusji, stąd recenzent nie bierze tego pod uwagę co się wydarzy w przyszłości a ocenia co się wydarzyło do momentu złożenia pracy.

W kolejnej części Autoreferatu recenzent znajduje wersję angielską po czym następują po sobie 3 wyżej już opisane publikacje wydane w języku angielskim. Recenzent nie znalazł spisu Literatury do Autoreferatu, poza tymi występującymi w załączonych publikacjach. Recenzent podkreśla, iż stwierdzenie ich braku nie jest jego złośliwością a jedynie stwierdzeniem faktu, gdyż w jego opinii recenzowania innych rozpraw, należałoby jej oczekiwać w Autoreferacie będącym integralną częścią dysertacji. To właśnie ten dość dziwny i bardzo dyskusyjny charakter struktury i treści Autoreferatu, chcąc nie chcąc, rzuca

niepotrzebnie spory cień na wysiłki programistyczne i ich efekty uzyskane przez Doktorantkę.

W rozumieniu Recenzenta to właśnie **część badań Doktorantki w zakresie implementacji programistycznej znanych już algorytmów (α -shape oraz PCA) do swej autorskiej metodyki należy uznać za kluczową w niniejszej rozprawie. Szczególnie cenne wydaje się być dopasowanie parametru α - na podstawie próbki uczącej (danych referencyjnych z pomiarów terenowych). Konieczność ich pozyskiwania w terenie za każdym razem dla analizowanego obiektu powoduje, iż nie da się bezkrytycznie oceniać stwierdzenia o "automatycznym algorytmie", gdyż wciąż wymaga on pracy operatora i nie ma zdolności uczenia się. Niewątpliwie to może stanowić jeszcze wyzwanie dla Doktorantki na dalszych etapach rozwoju naukowego by faktycznie metoda ta była w pełni automatyczna.**

Uwagi szczegółowe

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

W dyskusji (podczas obrony pracy) recenzent chciałby uzyskać odpowiedzi na poniższe kwestie:

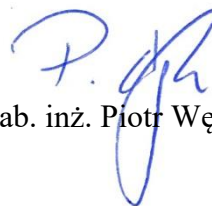
- jaką wartość impulsów lasera na jednostkę powierzchni, Doktorantka uważa za dane ALS o dużej gęstości?
- jakie instrumenty / urządzenia pomiarowe stosowano w pracach terenowych?
- dlaczego błąd określenia wysokości drzew obarczony był tak dużym błędem sięgającym 19% ?
- do czego posłużyły dane referencyjne o grubości pni drzew oliwnych?
- o jakie parametry oparty był algorytm wykrywających podstawę korony drzewa i czy uwzględnia on wysokość zwisających gałęzi czy odnosi się do miejsca ma pniu, z którego najstarsze gałęzie wyrastają?
- czy można by korelować cechy biometryczne drzew oliwnych z masą uzyskiwanych corocznie zbiorów owoców (oliwek) ?

Konkluzja

Po przestudiowaniu włączonych do Autoreferatu 3 publikacji, stwierdzam że wkład Doktorantki do nauk związanych z szeroką pojętą Geomatyką, a w szczególności z zakresie technologii przetwarzania chmur punktów 3D pochodzących z lotniczego skanowania laserowego (ALS) w zakresie analiz cech biometrycznych drzew na uprawach rolniczych (gaj oliwny) - **jest znaczący.**

Przedstawiona rozprawa zawiera oryginalne rozwiązanie istotnego problemu poprawnej detekcji zasięgu koron drzew i określania wybranych cech biometrycznych drzew oliwnych. Wątpliwości nie budzi wiedza Doktorantki z zakresu geoinformacyjnych technologii w dyscyplinie Geodezja i Kartografia, szczególnie w aspekcie daleko zautomatyzowanego przetwarzania chmur punktów ALS.

Tym samym stwierdzam, iż recenzowana przeze mnie rozprawa doktorska Pani mgr inż. **Edyty Hadaś**, przygotowana pod opieką promotora - **Pana prof. dr hab. inż. Andrzeja Borkowskiego** oraz promotora pomocniczego **dr inż. Przemysława Tymków** - **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 - Ustawa z dnia 18 marca 2011 r. o zmianie ustawy - Prawo o szkolnictwie wyższym, ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki oraz o zmianie niektórych innych ustaw; Dz. U. 2011 nr 84 poz. 455) - **i rekomenduję** Radzie Wydziału Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu - **dopuszczenie jej do publicznej obrony**.



dr hab. inż. Piotr Wężyk