

Prof. dr hab. inż. Jarosław Zawadzki

Warszawa, dnia 13 listopada 2018r.

Zakład Informatyki i Badań Jakości Środowiska

Wydział Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska

Politechnika Warszawska

Ul. Nowowiejska 20

00-653 Warszawa

Recenzja

Rozprawy doktorskiej mgr inż. Alexa S. Olpendy pt.

„Modeling light conditions in mixed stands using airborne LiDAR data: Białowieza Forest example”,

(pol. *“Modelowanie warunków świetlnych w drzewostanach mieszanych z zastosowaniem danych lotniczego skaningu laserowego na przykładzie Puszczy Białowieskiej”*)

Recenzję opracowano na podstawie zlecenia Dziekana Wydziału Leśnego Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego, zgodnie z uchwałą Rady Wydziału Leśnego Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego z dnia 9 października 2018r.

Rozprawa doktorska mgr inż. Alexa S. Olpendy została wykonana na Wydziale Leśnym Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego, pod kierownictwem dr hab. inż. Krzysztofa Będkowskiego, prof. UŁ (Wydział Nauk Geograficznych Uniwersytetu Łódzkiego, Instytut Geografii Miast i Turyzmu, Zakład Geoinformacji). Tematyka pracy pozostaje w ścisłym związku z prowadzoną przez niego rozległą tematyką badawczą i pracami naukowymi dotyczącymi m.in. zastosowania technologii skanowania laserowego w badaniach leśnych.

Rozprawa doktorska mgr inż. Alexa S. Olpendy ma tradycyjny układ i składa się z kilku głównych części, a mianowicie 1. Wprowadzenia, 2. Przeglądu literaturowego, 3. Opisu metod i danych, 4. Wyników, 5. Dyskusji, 6. Podsumowania i Wniosków, 7. Zaleceń, 8. Bibliografii, oraz 9. Załącznika. Ponadto w pracy znajdują się dodatkowo streszczenie w języku polskim i angielskim, podziękowania, spis treści, spis tabel, spis stosowanych skrótów oraz spis najważniejszych terminów terminologicznych i stosowanych jednostek. Praca napisana jest w języku angielskim, W dalszej części recenzji będę stosował ww. numery rozdziałów.

Całość zagadnienia została opracowana na 147 stronach (137 nie licząc załączników). W pracy zamieszczono 59 rysunków (w tym 1 w załącznikach), 24 tabele (w tym 1 w załącznikach) oraz 25 ponumerowanych wzorów. W załączniku znajdują się m.in. główne dane statystyczne wykorzystywane w pracy, będące wynikiem inwentaryzacji przeprowadzonych na badanych powierzchniach próbnych rozlokowanych w Puszczy

Białowieskiej. Bibliografia obejmuje (według moich wyliczeń) 183 pozycje literaturowe (strony 121-137) z czego w zdecydowanej części to pozycje anglojęzyczne, zaś pozostałe to pozycje polskojęzyczne, które można uznać za albo szeroko uznane, albo dotyczące badań wykonanych w Polsce. Na podkreślenie zasługuje również fakt, że zdecydowana większość pozycji literaturowych pochodzi z lat po 2000r., zaś prace starsze to uznane i klasyczne pozycje w swojej dziedzinie.

Zgodnie z tematem rozprawy Autora interesowały zastosowania technologii skanowania laserowego (ang. light detection and ranging – LiDAR) z pułapu lotniczego do oceny i modelowania warunków świetlnych w lasach, na przykładzie lasów gospodarczych Puszczy Białowieskiej. Zagadnienie to jest bardzo ważne, gdyż właściwa ocena warunków świetlnych ma zasadnicze znaczenie dla rozwoju roślinności leśnej, a zatem dla zagadnień dotyczących hodowli lasu.

Celem ogólnym rozprawy były badania związków pomiędzy parametrami drzewostanu wyznaczanych przy pomocy pomiarów naziemnych oraz z wykorzystaniem lotniczego skanowania laserowego, a warunkami świetlnymi pod okapem drzewostanu, w szczególności opracowanie metodologii uzyskiwania tych związków w drzewostanach mieszanych, na przykładzie Puszczy Białowieskiej. Zamierzeniem Autora było, aby ta metodologia ta była prosta, nie wymagająca dużych nakładów obliczeniowych i skalowalna do poziomu krajobrazu. Autor zdefiniował również pięć szczegółowych celów badawczych będących uszczegółowieniem celu ogólnego. Zarówno cele ogólne, jak i szczegółowe są wymienione na stronie 22 rozprawy.

Na stronie 23, Autor sformułował główną tezę pracy następująco: „Postawiono hipotezę, że możliwe jest oszacowanie promieniowania słonecznego w podszycie lasu na podstawie zestawów danych uzyskanych drogą lotniczego skanowania radarowego”. (Wersja oryginalna: „It is hypothesized that it is possible to estimate solar radiation in forest understory from airborne LiDAR datasets”). Następnie, również na stronie 23, Autor wymienił 8 hipotez szczegółowych, które były konkretyzacją hipotezy głównej. Następnie, określił tzw. pytania badawcze „research questions”, które można potraktować jako uzupełnienie przedstawionych powyżej celów i hipotez, na które zamierzał znaleźć odpowiedzi po zrealizowaniu pracy doktorskiej:

1. Czy występuje (statystycznie) istotny związek pomiędzy podokapowym nasłonecznieniem a parametrami strukturalnymi drzew i drzewostanu wyznaczonych drogą naziemnych pomiarów ręcznych?

2. Czy występuje (statystycznie) istotny związek pomiędzy podokapowym nasłonecznieniem a różnymi parametrami koron drzew wyznaczonymi drogą lotniczego skanowania radarowego?
3. Jaki jest optymalny wybór promienia powierzchni próbnych niezbędny w celu uzyskania informacji z lotniczego skanowania laserowego, oraz jaka jest wartość graniczna wysokości korony w celu wyznaczenia właściwych parametrów na przynajmniej badanym obszarze?
4. Jaki pojedynczy parametr korony lub jaka kombinacja takich parametrów jest najlepsza w celu najlepszego wyznaczenia nasłonecznienia pod okapem drzew i jak dokładnie byłoby użycie parametrycznego modelu liniowej regresji?

Przegląd literatury (rozdział 2) został opisany się na stronach 24-46 i obejmuje następujące główne zagadnienia:

1. przegląd (charakterystykę) promieniowania słonecznego,
2. znaczenie światła słonecznego w środowisku leśnym,
3. opis oddziaływanie światła słonecznego z koroną drzewa,
4. związki pomiędzy wynikami pomiarów drzew lub drzewostanów a wielkością nasłonecznienie pod okapem drzew,
5. przegląd metody zdjęć hemisferycznych (ang. hemispherical photography),
6. opis technologii skanowania laserowego (ang. light detection and ranging – LiDAR)
7. opis metod zdalnych badania nasłonecznienie pod okapem drzew,
8. charakterystykę Puszczy Białowieskiej.

Rozdział metodyczny (3) jest szczegółowym opisem obszaru badawczego, rozmieszczenia, geometrii i rozmiarów powierzchni próbnych, wyboru parametrów drzew i drzewostanów (takich jak gatunek drzewa, pierśnica, wysokość drzewa, pokrycie powierzchni przez korony (ang. canopy cover), sposobu wykonywania pomiarów naziemnych tych parametrów.

Uwagi ogólne

Już na wstępie, należy podkreślić, że temat podjęty przez Autora jest bardzo ważny zarówno z naukowego, jak i praktycznego punktu widzenia. Badania warunków świetlnych pod okapem drzewostanu wnoszą istotną wiedzę na temat warunków wzrostu roślinności leśnej pozwalającą na wykorzystanie jej do optymalizacji hodowli lasu, oraz lepsze zrozumienie skomplikowanych zjawisk wpływających na mikroklimat wnętrza lasu, zależnego w zasadniczym stopniu od warunków świetlnych, a wpływającego na zarówno na rośliny (np. na poziom fotosyntezy), jak i inne organizmy żyjące w podokapowych warstwach lasu. Badanie

tych warunków z wykorzystaniem zdjęć hemisferycznych w połączeniu z danymi lotniczego skaningu laserowego z wykorzystaniem technik Systemów Informacji Przestrzennej oraz metod statystycznych, głównie z zakresu analizy i korelacji należy również uznać jako właściwą i ciekawą propozycję metodyczną, bardzo dobrze dobraną do zrealizowania głównego zamierzenia pracy doktorskiej. Tematyka i cel pracy należy więc ocenić jako prawidłowe, pozwalające zrealizować nowatorskie badania i uzyskać wyniki na poziomie odpowiadającym pracom doktorskim. Istotnym walorem pracy, na który należy zwrócić uwagę jest połączenie kilku rodzajów danych, a mianowicie różnorodnych parametrów zmiennych opisujących drzewa i drzewostany oraz warunków świetlnych ocenionych przy pomocy zdjęć hemisferycznych (oświetlenie bezpośrednie, rozproszone i całkowite) z wybranymi charakterystykami impulsów laserowych generowanych w trakcie skaningu lotniczego.

Taki wybór rodzajów danych, jak i sposób ich korelowania należy ocenić bardzo wysoko, gdyż dzięki temu Autor drogą badań naziemnych ustalił, w sposób bardzo staranny i systematyczny, istotne zmienne (i ich parametry) związane z drzewami i drzewostanami mające istotny wpływ na warunki oświetlenia pod okapem drzew, a dopiero następnie dokonał analiz porównawczych z różnorodnymi zmiennymi opisującymi oddziaływanie impulsów laserowych ze skaningu laserowego z badanymi drzewostanami. Dzięki temu można uznać, że uzyskane wyniki i wnioski dotyczące przydatności danych pochodzących ze skaningu lotniczego do badania warunków świetlnych pod okapem drzewostanu są prawidłowo walidowane i wiarygodne.

Wynikiem naukowym i praktycznym tej pracy było potwierdzenie przydatności lotniczego skaningu laserowego do szybkiego badania warunków świetlnych pod okapem drzewostanu na znacznych obszarach, oraz ustalenie właściwych do tego celu modeli regresyjnych i wykorzystywanych w nich zmiennych. Przykładowo Autor stwierdził, że zmienną najlepiej opisującą ilość światła rozproszonego pod okapem drzewostanu w modelu regresji liniowej z jedną zmienną był wskaźnik przenikania impulsów laserowych (ang. Laser penetration index), zaś dalszą poprawę oceny ilość światła rozproszonego pod okapem drzewostanu można było uzyskać dzięki zastosowaniu wielokrotnej regresji liniowej stosując trzy dodatkowe zmienne takie jak średnia wysokości odbicia impulsów laserowych, mediana wysokości odbicia impulsów laserowych (poniżej DBH) i udział procentowy pierwszych odbić. Autor opracował analogiczne modele regresyjne i ustalił wykorzystywane w nich zmienne wysunął odnośnie oświetlenia bezpośredniego i całkowitego.

Od pracy doktorskiej wymagany jest również istotny wkład nowości naukowej. Jest nimi niewątpliwie próba selekcji charakterystyk (zmiennych) opisujących oddziaływanie

impulsów laserowych lotniczego skaningu laserowego (charakterystyk ASL) z roślinnością leśną, oraz integracja danych z tego skaningu z obserwacjami naziemnymi średniej wartości nasłonecznienia (światło rozproszone, bezpośrednie oraz całkowite) uzyskanego na podstawie zdjęć hemisferycznych. Choć podobne badania można znaleźć w literaturze to są one stosunkowo rzadkie występują i zazwyczaj mają charakter przyczynkowy lub odnoszą się do innych lokalnych warunków. Wybór Puszczy Białowieskiej na obszar badań na 100. wyselekcjonowanych spośród 600. losowo wybranych kołowych powierzchni próbnych ma ten walor, że uzyskane wyniki można próbować zaadoptować w innych lasach naturalnych w Polsce.

Można więc stwierdzić, że Autor podjął się przez tematyki poruszającej złożone zagadnienia, w dużej mierze o charakterze interdyscyplinarnym, bo obejmujące zagadnienia leśne jak również nowoczesne techniki optyczne jakimi są obserwacje lotnicze za pomocą skaningu laserowego i łączenia ich wyników z obserwacjami naziemnymi przy wykorzystaniu zdjęć hemisferycznych. Na podkreślenie zasługuje doskonała jakość danych naziemnych, ich skrupulatna selekcja oraz staranne analizy wstępne tych danych. Należy przy tym stwierdzić, że cel, tezy pracy, jak i jej zakres zostały przedstawione w sposób jasny i zrozumiały. Również większość pracy napisana jest w sposób przejrzysty, zaś jakość edytorska, w tym rysunków tabel i wzorów jest, w zasadzie, bez zarzutu.

Uwagi szczegółowe

1. W podrozdziale 3.2 Sampling Design, str. 48-50 Autor opisuje geometrię i wielkość kołowych powierzchni próbnych stosowanych w projekcie ForBioSensing według kryteriów określających wybrane parametry roślinności na badanej powierzchni próbnej (tab. 2). Jednak nie bardzo wiadomo dlaczego Autor określa tak szczegółowo w pracy geometrię powierzchni próbnych (z dokładnością do cm) i czemu ma służyć opis kryteriów zawartych w ostatniej kolumnie tab. 2. Podobne sytuacje, że Autor w istotnych aspektach odsyła do projektu bez odpowiednich wyjaśnień, powtarzają się w pracy. Ponadto w bibliografii nie ma odnośnika do projektu ForBioSensing (znajduje się on jedynie w tekście na stronie 47). Utrudnia to czytanie tej części pracy zmuszając czytelnika do szukania w literaturze.
2. Rys. 27. przedstawiający okno dialogowe programu WinSCANOPY i zdefiniowane klasy nieba oraz koron i przypisane im kolory jest moim zdaniem niepotrzebny w dysertacji doktorskiej, gdyż nie wnosi żadnej istotnej informacji, niezbędnej dla zrozumienia pracy.

3. Na uwagę zasługuje staranny wybór i jego opis wartości progowej wysokości koron i wielkości powierzchni próbnej wykorzystywanej w lotniczym skanowaniu laserowym (Podrozdział 3.7 Selection of Canopy Height Threshold and ALS Plot Size) świadczący o dobrym zaplanowaniu eksperymentu, co miało pozytywny wpływ na dalsze badania przeprowadzone w pracy.
4. Podobną uwagę można sformułować jeżeli chodzi o wybór charakterystyk (zmiennych) ALS wykorzystanych w pracy, opisujących oddziaływanie impulsów laserowych z badanymi drzewostanami. Wszystkie te charakterystyki były starannie zdefiniowane i omówione na str. 67 -76 w podrozdziałach 3.7 Selection of Canopy Height Threshold and ALS Plot Size, oraz 3.8 LiDAR Metrics. Charakterystyki te można najogólniej podzielić na 4 grupy: zmienne związane z klasami odbicia impulsów (Return Class Metrics), zmienne związane z wysokością odbicia impulsów (Height Metrics), zmienne związane z intensywnością (natężeniem) impulsów (Intensity Metrics), zmienne ilorazowe (Ratio Metrics). Autor opisuje systematycznie te 4 grupy zmiennych, nawiązując do literatury. Za szczególną uwagę należy zwrócić ilość i staranność wyboru tych zmiennych stosowanych w pracy. Na przykład na stronie 98, w podrozdziale 4.8 Variable Selection for MLR Autor informuje aż o 52 takich zmiennych, istotnie skorelowanych z nasłonecznieniem pod koroną drzew. Chociaż m.in. ze względu na istnienie wzajemnych korelacji pomiędzy nimi (występowanie współliniowości), w poszczególnych badaniach Autor wykorzystywał mniejszą ilość zmiennych, to należy podkreślić, że tak staranny dobór zmiennych ALS jest dużym walorem pracy. Chciałbym szczególnie podkreślić staranny dobór bicentyli (ang. bicultiles) oraz bardziej złożonych miar ilorazowych, jak np. wskaźnik penetracji impulsów laserowych oparty na wartościach intensywności (ang. Laser Penetration Index based on the intensity values).
5. Nieco niżej należałoby natomiast ocenić podrozdział 4.1 Sample Plots and Stand Characteristics, w którym Autor w tab. 7 przedstawia informacje statystyczne dotyczące powierzchni pomiarowych m.in. statystyki opisowe wysokości i pierśnicy oraz skład gatunkowy drzew na badanym obszarze. Niestety, informacje te uzupełnia jedynie dwoma dowolnie wybranymi wykresami statystycznymi, a mianowicie histogramami pokrycia powierzchni przez korony (ang. canopy cover) oraz wartości pierśnicy na 100 badanych powierzchniach próbnych. Pierwszy z tych histogramów jest mocno lewostronnie skośny (podobnie jak, o czym wspomina Autor, gęstość zadrzewienia) i dlatego histogramy te powinny być staranniej opisane. Ponadto Autor używa zbyt skrótowych sformułowań np. „above absolute 1” nie wspominając wyraźnie w tekście, że chodzi o

klasyczny współczynnik zmienności (Skewness) oraz zastosował niewłaściwą jednostkę na histogramie pierśnicy (rys. 37, str. 78), a mianowicie „m² day⁻¹). Opisując histogram z rys. 37 Autor powinien odnieść się, co jest powodem dość znacznej ilości wartości wyraźnie odstających z zakresu 75-80, gdyż widać wyraźnie, że w tym zakresie rozkład pierśnicy wyraźnie odbiega od normalnego. Reasumując staranność tego rozdziału trudno uznać za zadawalającą. Charakterystyka powierzchni pomiarowych powinna być bardziej systematyczna i szczegółowa.

6. Jeżeli chodzi o opis położenia powierzchni pomiarowych to również wymagał on staranniejszego komentarza. Interesujący byłoby np. dokładniejszy opis statystyczny wielkości oraz wzajemnego położenia obszarów zalesionych na których wybierano powierzchnie pomiarowe metodą próbkowania losowego. Na rys. 35, str. 76 nie ma skali przestrzennej, nie jest zaznaczony kierunek północny, nie ma legendy wyjaśniającej odpowiednio klasy pokrycia terenu. Krótkie, acz nieprecyzyjne stwierdzenie „Bright portions are with human settlements and man-made structures.” jest daleko niewystarczające w stosunku do odpowiedniej informacji, która powinna się znaleźć w rozprawie doktorskiej.
7. W podrozdziale 4.3 Digital HP Processing Results Autor opisuje wyniki analiz wartości nasłonecznienia pod koronami drzew (światło rozproszone, bezpośrednie oraz całkowite) uzyskanego na podstawie zdjęć hemisferycznych na badanych powierzchniach pomiarowych. Rozdział ten jest stosunkowo krótki, gdyż ma 3 strony (str. 80-81), wraz z trzema tabelami 9-11, oraz trzema histogramami przedstawionymi na rys. 39. Lektura tego podrozdziału z jednej strony wskazuje na bardzo dużą ilość pracy eksperymentalnej włożoną w uzyskanie wyników, jak również w selekcję fotografii, prowadzącą ostatecznie do wyboru tylko 96 powierzchni próbnych, w tym tylko 52 na których wykonano 5 zdjęć hemisferycznych. W tabeli 10 Autor przedstawia podstawowe statystyki nasłonecznienia (światło rozproszone, bezpośrednie oraz całkowite): średnia, odchylenie standardowe, współczynnik skośności, zakres, wartość minimalną i maksymalną, uzyskane na wybranych 96 powierzchniach próbnych, zaś w tabeli 11 zestawia średnią, odchylenie standardowe, zakres i liczbę wyników uzyskanych na tych powierzchniach, z wynikami uzyskanymi z 85 zdjęć uzyskanych w położeniu centralnym układu pomiarowego przedstawionego na rys. 19 na str. 52. Autor konkluduje, że dla wszystkich rodzajów oświetlenia uzyskuje (na podstawie wybranych 96 powierzchniach próbnych) rozkłady o znacznej asymetrii prawostronnej (współczynnik asymetrii przekracza 2 w przypadku wartości nasłonecznienia dla światła bezpośredniego i całkowitego, oraz 1,84 dla światła

rozproszonego). Choć Autor krótko komentuje, że na czterech powierzchniach próbnych wartości oświetlenia wynikają z najmniejszej gęstości zadrzewienia i pokrycia powierzchni przez korony, to jednak nie bada wystarczająco ani wpływu asymetrii, ani istnienia wartości odstających na uzyskane wartości średniej i odchylenia standardowego. Co ciekawe w tab. 11 nie umieścił wartości współczynnika skośności, ani nie przedstawił histogramów wartości nasłonecznienia dla pojedynczych zdjęć, co powoduje, że porównanie wyników otrzymanych na podstawie zdjęć pojedynczych i wielokrotnych jest niepełne. Podobnie, nasuwa się pytanie: dlaczego Autor nie przedstawił w tab. 10 i 11 wybranych statystyk pozycyjnych, choćby mediany, kwartyli i odchylenia ćwiartkowego. To wszystko sprawia, że mimo ogromu pracy eksperymentalnej ich opis statystyczny należy uznać za zbyt pobieżny.

8. W rozdziale 4.4 Sunlight and Stand Parameters Relationships (str. 83-84) Autor analizuje, a następnie w tab. 12 przedstawia wartości współczynników korelacji Pearsona pomiędzy podstawowymi parametrami drzewostanu na badanych powierzchniach pomiarowych takich jak całkowita ilość drzew, średnia i maksymalna wysokość drzew, całkowita wysokość drzew, całkowita wysokość koron, całkowita pierśnica, objętość koron, pokrycia powierzchni przez korony, a wartościami nasłonecznienia, podając, które wartości współczynników korelacji Pearsona są istotne. Pojawia się tu kilka kwestii. Niestety, w pracy doktorskiej, nawet w załącznikach nie ma informacji o objętości i wysokości koron na badanych powierzchniach pomiarowych, zaś informacja o całkowitej wysokości drzew nie jest obecna w tab. 7 na str. 77, gdzie Autor przedstawiał parametry drzewostanu na badanych powierzchniach próbnych. To powoduje, pewną niespójność w prezentowanych wynikach, jak również to, że sprawdzenie niektórych wyników w tab. 12 wymagałoby poszukiwania danych oryginalnych z projektu w ForBioSensing. Jednak bardziej istotne jest, że syntetyczna tab. 12 przedstawiająca wyniki pracy doktorskiej, które należy uznać za najważniejszych w pracy, moim zdaniem powinna być uzupełniona wykresami rozrzutu odpowiednich par zmiennych. Współczynniki korelacji, choć w przeważającej liczbie istotne należy uznać najczęściej za umiarkowane, zaś biorąc pod uwagę czułość współczynnika korelacji Pearsona na wartości odstające (które były widoczne zarówno wśród parametrów drzewostanów na badanych powierzchniach próbnych, jak wśród wartości oświetlenia), trudno jest ocenić na ile wartości przedstawione w tab. 12 są wiarygodne i jaki może być na nie wpływ wartości odstających. Test istotności przeprowadzony przez Autora dotyczy jedynie występowania (lub braku) korelacji.

Sądzę, że należało załączyć takie wykresy rozrzutu (8) w załącznikach, oraz lepiej przedyskutować ten aspekt w podrozdziale 4.4, który zajmuje jedynie 1,5 strony i w dużej mierze jest wypełniony informacjami literaturowymi. Zasadna jest w tym miejscu uwaga bardziej ogólna, że Autor powinien wyraźniej odseparować własne wyniki od wyników literaturowych.

9. W rozdziale 4.5 Simultaneous Canopy Height Threshold and Plot Size Analyses, w którym Autor stara się uzasadnić wybór wielkości promienia powierzchni próbnych wykorzystywanym w pracy, w trakcie lotniczego skaningu laserowego. W tym celu obliczał on wartości współczynników determinacji pomiędzy wartościami nasłonecznienia pod koronami drzew a różnymi charakterystykami ALS (opisanymi w podrozdziale 3.8, np. współczynnikiem penetracji impulsów laserowych lub bicentylami, wyznaczanymi dla różnych wysokości odbicia). Następnie badał on zależność tych współczynników determinacji od wielkości promienia powierzchni próbnych. Obliczenia wykonane w tym rozdziale należy uznać za bardzo staranne, mimo tego, że opis wyników nie jest wystarczająco precyzyjny. M.in. tytuł rozdziału nie do końca oddaje zawartą w nim treść. Nie jest również jasne dlaczego w podpisach rysunków 40-48 użyte jest wyrażenie „Regression lines...” np. „Regression lines of LPI” podczas, gdy na rysunkach przedstawione na wykresach są po prostu zależnościami współczynnika determinacji wyznaczonymi jak opisano powyżej od długości promienia powierzchni próbnych. W rezultacie Autor wyznacza najbardziej właściwy promień powierzchni próbnych dla skanowania laserowego.
10. W podrozdziałach 4.6-4.8 Autor przeprowadza analizę korelacji między dwiema zmiennymi pomiędzy wartościami nasłonecznienia pod koronami drzew (światło rozproszone, bezpośrednie oraz całkowite) traktowanymi jako zmienne objaśniane, a różnymi charakterystykami ALS, opisanymi w podrozdziale 3.8 (zmienne objaśniające), dyskutując uzyskane wyniki. Stosuje on przy tym promień powierzchni próbnej dla skanowania laserowego równy 9m, zgodny z wynikami poprzedniego rozdziału. Do wyboru najbardziej przydatnych zmiennych wyjaśniających wykorzystuje m.in. wartości statystycznego wskaźnika współliniowości (ang. Variance Inflation Factor). W rezultacie w tab. 20 wymienia 8 najlepszych zmiennych objaśniających, zaś na rysunku 51 dodatkowo przedstawia ich histogramy, wykresy rozrzutu, oraz współczynnik korelacji pomiędzy nimi, jak również wykonuje test Shapiro-Wilka. 6 z 8 zmiennych wymienionych w tab. 20 dodatkowo logarytmuje ze względu na dużą skośność ich rozkładów, podobnie jak 3. zmienne opisujące nasłonecznienie pod

koronami. W podrozdziale 4.9 Autor przeprowadza regresję krokową w celu uzyskania najlepszego zbioru zmiennych wyjaśniających w modelu regresji wielorakiej dla 3. zmiennych objaśnianych tj. nasłonecznienia pod koronami drzew w przypadku światła rozproszonego, bezpośredniego oraz całkowitego, przy czym proponuje on w każdym z tych trzech przypadków po 2 modele. Wszystkie te modele charakteryzują się stosunkowo wysokim skorygowanym współczynnikiem regresji wielorakiej przekraczającym 0,7 w przypadku światła bezpośredniego i całkowitego, oraz 0,8 w przypadku światła rozproszonego. Ostatecznego wyboru modelu (w tych trzech przypadkach) dokonuje poprzez porównywanie błędu średniokwadratowego (RMSE) i braku korelacji rezyduów.

Wyżej opisane analizy należy uznać za bardzo staranne, przemyślane i poprawne.

11. W rozdziale 4.10 Autor stosuje najlepsze modele do 9 zbiorów danych LiDAR pokrywających razem obszar 245 hektarów. Korzystając z rozkładów przestrzennych 4 charakterystyk ALS zmiennych LPI(<3m), RHmean, RHmedian(<DBH), R1% (oznaczenia jak w pracy doktorskiej), przy uwzględnieniu numerycznego modelu terenu (NMT) oraz numerycznego modelu powierzchni (DSM) uzyskuje w rezultacie rozkłady przestrzenne nasłonecznienia pod koronami drzew w przypadku światła rozproszonego, bezpośredniego oraz całkowitego, które są przedstawione na rys. 58.

Bez wątplenia przeprowadzone analizy i uzyskane wyniki trzeba uznać za bardzo wartościowe (choć Autor nie podał, jak należałoby legendy do rysunków przedstawiających DTM i DSM).

12. W rozdziale 5 Autor przeprowadza dyskusję, którą należy uznać za wartościową, jednak powinien lepiej oddzielić własne wnioski uzyskane na podstawie wyników swojej pracy od wyników i wniosków literaturowych, które licznie przytacza. Nie jest jednak to duża usterka, w porównaniu do korzyści płynących z doskonałej znajomości tematu i wyników uzyskanych przez innych badaczy.
13. Podobnie wysoko należy ocenić podsumowanie i wnioski przedstawione w rozdziale 7., jak i rekomendacje przedstawione w rozdziale 8. W rekomendacjach (jak również w podrozdziale 5.5 Sources of Errors and Uncertainties) brakuje mi co prawda choćby małej wzmianki o możliwości stosowania narzędzi geostatystycznych np. w celu lepszej integracji danych naziemnych i charakterystyki ALS, oraz wyznaczenia rozkładu przestrzennego błędów, jednak byłyby to rekomendacje bardzo znacząco wykraczające poza techniki zastosowane w recenzowanej rozprawie.

14. W pracy zauważalne są niezręczne sformułowania wynikające najprawdopodobniej z luk w pogłębionej wiedzy statystycznej, który Autor stara się nadrobić znajomością programu statystycznego. Przykładowo na str. 112, 5. i 6 linia od dołu używa wyrażenia "... the best single estimator of sunlight with R2 ...". Jednak współczynnik determinacji R2 nie jest miarą jakości estymatora, a jedynie miarą dopasowania modelu. Autor jednak nie zaznaczył wcześniej, że nie jest jego celem badanie własności estymatorów więc sformułowanie to może być mylące.

Podsumowanie

Reasumując, wymienione powyżej uwagi krytyczne lub dyskusyjne nie zmieniają tego, że rozprawa doktorska pana mgr inż. Alexa L. Olpendy posiada istotne walory. Autor podjął ważne i aktualne badania leśne o dużym stopniu złożoności. Praca doktorska prezentuje odpowiedni poziom naukowy, zawiera nowatorskie wyniki poparte ciekawą dyskusją i rekomendacjami. Dodatkowo należy docenić również dużą ilość włożonej pracy i doskonałą znajomość literatury przedmiotu

Moim zdaniem recenzowana rozprawa stanowi bardzo cenną pozycję z zakresu zastosowań lotniczego skaningu laserowego i zdjęć hemisferycznych w leśnictwie.

W świetle powyższych ustaleń stwierdzam, że przedłożona do oceny rozprawa doktorska spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim, zgodnie z Ustawą z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. Nr 65, poz. 595, z późn. zm.). W związku z tym upoważnia mnie to do przedłożenia wniosku Radzie Wydziału Leśnego Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego o dopuszczenie mgr inż. Alexa L. Olpendy do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Jednocześnie wnioskuję o wyróżnienie rozprawy ze względu na uzyskanie nowatorskich wyników, które wytyczają kierunki dalszych zaawansowanych badań mających bardzo duże znaczenie teoretyczne i praktyczne w leśnictwie.



Warszawa, 13 listopada, 2018r.

Prof. dr hab. inż. Jarosław Zawadzki