

dr hab. inż. Sławomir Mikrut, Prof. AGH
Akademia Górniczo-Hutnicza im. S. Staszica w Krakowie
Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska
Katedra Fotogrametrii, Teledetekcji Środowiska
i Inżynierii Przestrzennej
Al. Mickiewicza 30
30-059 Kraków
smikrut@agh.edu.pl

Kraków, 8 lipca 2021 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Miłosza Mielcarka

na temat :

„Wpływ technologii pozyskania chmury punktów oraz metody przetwarzania danych na dokładność określania wysokości drzew na podstawie Wysokościowego Modelu Koron”

1. Podstawa formalna opracowania recenzji

Formalną podstawą opracowania recenzji jest uchwała Rady Naukowej Instytutu Badawczego Leśnictwa o wyznaczeniu recenzentów w przewodzie doktorskim mgr inż. Miłosza Mielcarka z posiedzenia w dniu 22 kwietnia 2021 roku wraz pismem przewodnim z dnia 5 maja 2021 roku r. oraz umową o dzieło.

Promotorem rozprawy doktorskiej był Pan dr hab. Krzysztof Stereńczak, prof. IBL.

2. Ocena istotności i aktualności tematu

Temat naukowy podjęty przez Doktoranta w przewodzie doktorskim dotyczy badania wpływu technologii pozyskania chmury punktów oraz metod przetwarzania danych na dokładność określania wysokości drzew na podstawie Wysokościowego Modelu Koron.

Technologia wykorzystania chmury punktów do badań w leśnictwie a szczególnie do określania wysokości drzew na podstawie Wysokościowego Modelu Koron jest tematem powszechnie znanym, nad którym pracuje wiele ośrodków naukowo-badawczych na całym świecie.

Od kilkunastu lat techniki teledetekcyjne pozwalają na pomiary cech drzewostanów, oceny ich kondycji czy ogólnej inwentaryzacji. Bardzo duże znaczenie w ostatnich latach zyskały technologie związane ze skanowaniem laserowym i to zarówno lotniczym jak i naziemnym. Do tego dochodzą najnowocześniejsze techniki fotogrametryczne pozwalające na pozyskiwanie danych z niskiego pułap i generowanie tzw. gęstej chmury punktów. Chmura punktów stała się zatem nowym zasobem danych, pozwalającym na budowanie modeli przestrzennych lasu, co pozwoliło na pewne unowocześnienie metod analizy i opracowywania danych terenach leśnych. Również badanie zmian struktury funkcjonalno-przestrzennej czy inwentaryzacja obecnego stanu z wykorzystaniem opracowań teledetekcyjnych to z pewnością tematy aktualnie znajdujące się na liście ważnych i ogólnoswiatowych trendów badawczych w zakresie leśnictwa.

Szczególnie takie zagadnienia jak analiza danych hiperspektralnych czy pozyskiwanie danych niskopułapowych wydają się być światowymi trendami w dyscyplinie naukowej - nauki leśne.

Wybrane przez Doktoranta zagadnienie stawia zatem szereg problemów badawczych, wymagających rozwiązania, a co ważne, ma również oczywisty sens i wykorzystanie praktyczne.

Uważam, że podjęty w rozprawie problem jest aktualny i ważny, a także bardzo mocno osadzony w realiach.

3. Cel i teza rozprawy doktorskiej

Cel pracy został jasno sprecyzowany w rozdziale 3 rozprawy na stronie 13 i brzmi następująco:

"głównym celem dysertacji jest ocena wpływu technologii pozyskania i przetworzenia chmury punktów do postaci Wysokościowego Modelu Koron (WMK) na dokładność określania wysokości drzew".

Doktorant podał też tzw. cele szczegółowe. W pracy zostały one opisane na stronach 13-14.

Sformułował również następujące hipotezy badawcze (str.14-15):

1. Wysokość drzew określona w wykorzystaniu zdalnych metod teledetekcyjnych nie różni się w sposób istotny od wysokości zmierzonych w terenie tradycyjnymi metodami pomiarowymi wykorzystującymi wysokościomierze ręczne (hipoteza udowadniania w publikacjach 1,2,3).
2. Sposób przetworzenia chmury do postaci Wysokościowego Modelu Koron ma wpływ na dokładność określania wysokości drzew (publikacja 2).
3. Technologia pozyskania chmury punktów nie wpływa na dokładność określania wysokości drzew na podstawie Wysokościowego Modelu Koron (publikacja nr 3).
4. Dokładność określania wysokości drzew na podstawie metod zdalnych jest różna dla poszczególnych gatunków drzew (publikacja nr 2 i 3).
5. Cechy drzew i drzewostanów mają wpływ na rozbieżności między wysokościami uzyskanymi z wykorzystaniem danych ALS i DAP (publikacja nr 3).

Zdefiniowane głównego celu badawczego oraz celów szczegółowych wraz z podaniem hipotez badawczych stanowią w mojej opinii spójną całość potwierdzoną badaniami opisanymi w trzech załączonych publikacjach.

Celem zweryfikowania hipotez badawczych Doktorant zebrał dostępne materiały, prawidłowo przeprowadził eksperymenty oraz bardzo szczegółowo je opisał w wysoko-punktowanych czasopismach (w sumie IF=9,765).

Założone osiągnięcie naukowe miało zostać udowodnione poprzez przeprowadzone eksperymenty badawcze na podstawie odpowiednio zebranych materiałów oraz prawidłowo zdefiniowanej - w mojej opinii - metodyce badawczej.

W mojej opinii postawiony w rozprawie cel pracy oraz hipotezy badawcze są prawidłowe, a wykazanie ich słuszności ma zarówno aspekt poznawczy jak i duże znaczenie praktyczne.

4. Układ i treść rozprawy

Rozprawa doktorska składa się z części głównej i załączników w postaci trzech spójnych tematycznie publikacji opisanych w przedstawionej rozprawie.

Na pracę składa się zatem:

- streszczenie,
- wprowadzenie,
- opis naukowy rozprawy,
- hipotezy badawcze,
- materiały i metody,
- najważniejsze wyniki,
- wnioski,
- kierunki przyszłych badań,
- bibliografia,
- załączniki (wydruk trzech publikacji).

W pracy jest wyraźny podział na część teoretyczną oraz praktyczną. Tę drugą stanowią eksperymenty opisane w załącznikach gdzie podane są wydruki publikacji.

Pierwszą część pracy (teoretyczna) stanowi pierwsze 9 rozdziałów.

Pozycja literaturowa stanowiąca rozdział 9 (pt. Bibliografia) obejmuje 82 pozycje.

Całość rozprawy obejmuje 9 rozdziałów (na 39 stronach) oraz wspomniane załączniki - pozycja nr 10 w spisie treści (3 strony oświadczeń i 42 strony trzech publikacji).

Wykaz spójnego zbioru trzech publikacji wydrukowanych w formie załączników:

1. *Porównanie dokładności zdalnych metod szacowania wysokości drzew*. SYLWAN 159(9), 2015, Autorzy: **Miłosz Mielcarek**, Radomir Bałazy, Tomasz Zawila-Niedźwiecki.

2. *Testing and evaluating different LiDAR-derived canopy height model generation methods for tree height estimation*. Int. J Appl Earth Obs Geoinformation 71 (2018), ed. ELSEVIER.
Autorzy: **Miłosz Mielcarek**, Krzysztof Stereńczak, Anahita Khosravipour.

3. *Digital Aerial Photogrammetry (DAP) and Airborne Laser Scanning (ALS) as Sources of Information about Tree Height: Comparison of the Accuracy of Remote Sensing Methods for Tree Height Estimation*. Remote Sensing 2020,12. Autorzy: **Miłosz Mielcarek**, Agnieszka Kamińska, Krzysztof Stereńczak.

We wszystkich trzech publikacjach autor rozprawy występuje na pierwszym miejscu co świadczy o jego kluczowym udziale w tych pracach. Potwierdzają to również stosowne oświadczenia współautorów dołączone do pracy, z których wynika, że jego udział procentowy był odpowiednio na poziomie 70 %, 70% i 80 % co stanowi o jego bardzo dużym wkładzie w te publikacje.

5. Ogólna ocena oraz uwagi do pracy

Doktorant w części głównej pracy bardzo dobrze nakreślił problematykę swojej pracy, pokazał jej interdyscyplinarność, a także podał cel naukowy, krótką charakterystykę publikacji oraz jasno sprecyzował hipotezy badawcze w nich zawarte szczegółowo podając, która hipoteza udowodnienia jest, w której publikacji.

Szczegółowo opisał również prace terenowe oraz scharakteryzował obiekty badawcze. Rozdziały 1-4 to wprowadzeni do pracy wraz podaniem celu i hipotez badawczych.

W rozdziale 5 dokonał ciekawych zestawień i analiz statystycznych co stanowi niewątpliwie bardzo dobre podsumowanie wyników jego prac (i współautorów jego publikacji).

W rozdziale 6 zebrał dotychczasowe wyniki, natomiast rozdział 7 stanowi pewnego rodzaju podsumowanie wszystkich wyników badań w postaci wniosków końcowych.

Dziesięć wniosków zaprezentowanych w tym rozdziale stanowi niewątpliwie w pewnym sensie wkład Doktoranta w dyscyplinę. Ostatni rozdział merytoryczny (ósmym) pt. "Kierunki przyszłych badań" stanowi pewne podsumowanie jego dotychczasowej wiedzy oraz próbę bardzo pozytywnego patrzenia w przyszłość, tzn. wizja prowadzenia dalszych badań nie kończąca się tylko na aktualnym problemie badawczym, który właśnie realizuje, ale dostrzeżenie swoich eksperymentów w szerszej i dalszej perspektywie. To jest bardzo cenne. Świadczy o dojrzałości naukowej Doktoranta, szczególnie, że dotyczy problemu stosowania Bezzałogowych Statków Powietrznych. Wiadomo, że ten kierunek ma zdecydowaną przyszłość w rozwoju zdalnych metod pozyskiwania danych szczególnie dla leśnictwa.

Punkt 10 spisu treści to załączniki. Do pracy dołączono wydruki wspomnianych wyżej publikacji stanowiący dorobek naukowy Doktoranta.

Pierwsza publikacja nosi tytuł: *"Porównanie dokładności zdalnych metod szacowania wysokości drzew"*, wydana w czasopiśmie SYLWAN 159(9) w 2015. Celem tej publikacji było określenie dokładności pomiaru wysokości drzew kilkoma metodami takimi jak pomiary terenowe, ze skaningu laserowego oraz fotogrametrii lotniczej. Wyniki zaprezentowane w publikacji pokazały, że metoda fotogrametryczna daje wyższe dokładności niż skaningu laserowy niemniej jednak trzeba mieć świadomość, że odchodzi się dzisiaj powoli od klasycznych pomiarów fotogrametrycznych.

Druga publikacja pt. *"Testing and evaluating different LiDAR-derived canopy height model generation methods for tree height estimation"* wydana w czasopiśmie Int. J Appl Earth Obs Geoinformation 71 w 2018, obejmowała sprawdzenie wpływu metody tworzenia Wysokościowego Modelu Koron na dokładność pomiarów wysokościowych pojedynczych drzew. W pracy dokonano ciekawej analizy przetwarzania danych z lotniczego skaningu laserowego do Wysokościowego Modelu Koron w celu usuwania pojawiających się artefaktów

w postaci pikseli o wysokości znacznie niższej niż piksele sąsiadujące, stąd też główny efekt pracy to weryfikacja wpływu eliminacji artefaktów na dokładność określania wysokości drzew. Trzecia publikacja pt. *"Digital Aerial Photogrammetry (DAP) and Airborne Laser Scanning (ALS) as Sources of Information about Tree Height: Comparison of the Accuracy of Remote Sensing Methods for Tree Height Estimation"* opublikowana w czasopiśmie Remote Sensing w 2020 roku, obejmowała badania dotyczące porównania wysokości drzew uzyskanych ze skaningu laserowego z wysokościami z klasycznej fotogrametrii (pomiar stereoskopowy). Uzyskane wysokości porównano z pomiarami terenowymi. Na uwagę zasługuje próba łączenia cech drzew i drzewostanów z wynikami pomiarów uzyskanymi w bazie danych fotogrametrycznych i ze skaningu laserowego. W publikacji pokazano również ciekawe wyniki analiz dotyczące szacowania wysokości drzew w zróżnicowanym drzewostanie Białowieskiego Parku Narodowego. Są to ciekawe i nowatorskie eksperymenty.

5.1. Uwagi merytoryczne:

5.1.1. Ocena wartości naukowej rozprawy

Przedstawiona rozprawa nosi znamiona pracy interdyscyplinarnej. Doktorant dobrze porusza się w zagadnieniach leśnych jak i potrafi stosować techniki pomiarowe z zakresu fotogrametrii i teledetekcji. W swoich publikacjach widać staranność zarówno w doborze obszarów testowych jak i nowoczesnych technik pomiarowych takich jak fotogrametria czy skaningu laserowego.

Prowadzone badania cechuje również dobre planowanie eksperymentów badawczych jak i późniejsze opracowanie wyników badań.

Wartością naukową pracy wydaje się być autorska metodyka określania wysokości drzew składająca się z trzech etapów:

- segmentacja drzew,
- lokalizacja odpowiednich koron drzew w oparciu o pomiary terenowe,
- obliczanie wysokości drzew z najwyższych wartości pikseli.

Ważnym walorem badań jest też porównanie aktualnie najnowszych dostępnych metod pomiarowych takich jak skaningu laserowego i fotogrametria oraz zaproponowanie weryfikacji tych

danych. Te techniki pomiarowe wykorzystywane są głównie do tworzenia modeli 3D czy map, natomiast Doktorant znalazł im zastosowanie również w leśnictwie.

Kolejnym (trzecim) walorem naukowym pracy jest wykonanie analiz statystycznych, które pozwalają na weryfikowanie tych metod. W tym miejscu należy wyraźnie podkreślić, że zarówno cel jak i przyjęte hipotezy badawcze zostały pozytywnie zweryfikowane.

5.1.2 Uwagi krytyczne

W mojej opinii praca miałaby jeszcze większą wartość naukową, gdyby Doktorant pokusił się o poszerzenie pewnych zagadnień.

1. Zdecydowanie za mało miejsca poświęcono na omówienie najnowszych trendów w pozyskiwaniu danych w leśnictwie zarówno z niskiego pułapu jak i satelitarnego.

Technologia pozyskiwania danych ze skaningu laserowego z niskiego będzie następną technologią w pozyskiwaniu danych do oceny drzew z racji niskich kosztów. Dzisiaj na rynku znajduje się coraz więcej sprzętu i oprogramowania pozwalającego na realizację tych badań. Spodziewałem się również pierwszych wyników już w tej rozprawie, ale nawet jeśli nie, to w tego typu pracach, gdzie ich celem jest m.in. wyznaczenie trendów na najbliższe lata, spodziewać się należało dokładnej analizy istniejącego stanu jaki jest na rynku jeśli chodzi o możliwości sprzętowe i oprogramowanie. Tutaj tego zabrakło. poświęcono w pracy zaledwie kilka zdań.

2. Mówiąc o technikach generowania chmur punktów i uzyskiwania z nich różnych dokładności można było pokusić się o szerszą analizę nawet literaturową metod filtracji chmury punktów i ewentualna automatyczna ekstrakcja danych. Zabrakło odniesienia do najnowszej technologii związanej z pozyskiwaniem chmury punktów dedykowanej m.in. do lasów, a więc technologia tzw. pełnej fali (ang. *full wave form*).

3. Mało miejsca poświęcano automatyzacji procesów. Dzisiaj w dobie wykorzystywania uczenia maszynowego i metod sztucznej inteligencji w większości prac interpretacyjnych czy

związanych w ekstrakcją danych, warto było pokusić się o pokazanie aktualnego stanu wiedzy czy trendów w rozwoju tym zakresie, zwłaszcza, że takie próby są podejmowane na świecie.

Te trzy zagadnienia będę prosił, aby Doktorant rozwinął na obronie.

Uwagi edytorskie, językowe, redakcyjne i inne

Rozprawa napisana jest bardzo dobrym językiem, układ pracy jest prawidłowy. Praca jest również bardzo dobrze przygotowana od strony edytorskiej.

Natomiast trochę mylący wydaje się być spis treści, gdzie w punkcie pierwszym podano rozdział: "Struktura pracy", a zamiast spodziewanej struktury całej pracy podano tylko opis dotyczący publikacji. Czy należy rozmieść, że pozostałe rozdziały nie są w strukturze pracy ?

W mojej opinii praca składa się z dwóch głównych części:

A - teoretycznej (rozdziały 1-9, gdzie jest wprowadzenie, podane cele, hipotezy, metodyka, obszar badań, wyniki, wnioski i kierunki badań),

B - praktycznej (wyniki badań zaprezentowane są w formie publikacji).

6. Wniosek końcowy

Moja ocena merytoryczna pracy jest wysoka. Doktorant wykazał się odpowiednią wiedzą teoretyczną oraz posiada umiejętności samodzielnego prowadzenia interdyscyplinarnego eksperymentu naukowego i prawidłowego interpretowania wyników.

Cel główny oraz cele szczegółowe zostały osiągnięte, a hipotezy badawcze stawiane na początku zostały potwierdzone w eksperymentach.

Doktorant prawidłowo dobrał materiał badawczy, uzupełnił dane swoimi pomiarami terenowymi udowadniając cel główny rozprawy.

Umiejętnie połączył różne techniki pomiarowe takie jak skaning laserowy czy fotogrametria, gdzie porównał wyniki uzyskane poszczególnymi metodami co podnosi wartość pracy jako interdyscyplinarną.

Praca wymagała prowadzenia badań w szerszym zespole co tłumaczy współautorstwo w publikacjach, ale należy podkreślić, że wkład Doktoranta w te prace był bardzo wysoki (70%, 70%, 80%).

Przedstawione powyżej uwagi krytyczne czy dyskusyjne nie obniżają wartości pracy.

Stwierdzam zatem, że na podstawie przeprowadzonych eksperymentów oraz wyników badań zrealizowany został cel pracy oraz udowodnione zostały hipotezy badawcze określające:

wpływ metod przetwarzania danych ze skaningu laserowego na dokładność określania wysokości koron drzew.

Doktorant wykazał się dobrym warsztatem naukowym, dobierając odpowiednie metody badawcze, poradził sobie z interdyscyplinarnością rozwiązywanych problemów, udowodnił, że potrafi analizować i oceniać uzyskane rezultaty oraz formułować poprawne wnioski.

Wykazał się przy tym bardzo dobrym przygotowaniem merytorycznym co stawia go w szeregu bardzo dobrych specjalistów w tym zakresie.

Stwierdzam zatem, że recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. **Miłosza Mielcarka** pt. „*wpływ metod przetwarzania danych ze skaningu laserowego na dokładność określania wysokości koron drzew*” **spełnia wymagania** zawarte w ustawie "O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki" (Dz.U. Nr 65, poz. 595) w dziedzinie nauk rolniczych i dyscyplinie - nauki leśne.

Stawiam zatem wniosek o przyjęcie przedłożonej rozprawy doktorskiej i dopuszczenie mgr inż. Miłosza Mielcarka do następnych etapów przewidzianych w przepisach o przewodach doktorskich.



dr hab. inż. Sławomir Mikrut, Prof. AGH

Kraków, 8 lipca 2021 r.