

Dr hab. inż. Krzysztof Będkowski

Łódź, 17 września 2018 r.

Prof. nadzw. Uniwersytetu Łódzkiego

Zakład Geoinformacji, Instytut Geografii Miast i Turyzmu

Wydział Nauk Geograficznych, Uniwersytet Łódzki

ul. S. Kopcińskiego 31, 90-142 Łódź

Recenzja rozprawy doktorskiej

mgr. inż. Pawła Hawryło

pod tytułem **”Określanie zasobności drzewostanów sosnowych metodą przetwarzania chmur punktów pochodzących z dopasowania zdjęć lotniczych oraz lotniczego skanowania laserowego”**

wykonanej na Wydziale Leśnym Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kołłątaja w Krakowie

pod kierunkiem dr. hab. inż. Piotra Wężyka

Podstawa oceny

Ocenę rozprawy wykonałem na podstawie uchwały Rady Wydziału Leśnego Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kołłątaja w Krakowie nr 88/2018 z dnia 4 lipca 2018 r. powołującej mnie na recenzenta rozprawy oraz pisma Dziekana Wydziału Leśnego UR w Krakowie nr 4DL-520-27.376/2018 z dnia 23 lipca 2018 r.

Wstęp

Zrównoważona gospodarka leśna wymaga posiadania coraz dokładniejszych informacji o stanie lasu. Współczesne leśnictwo stale doskonali metody inwentaryzacji, sięgając także po nowoczesne techniki i technologie, które powstały poza leśnictwem. Należą tu m.in. techniki geomatyczne, a szczególnie fotogrametryczne i teledetekcyjne, których niezaprzeczalną i bardzo ważną zaletą jest to, że umożliwiają uzyskanie w krótkim czasie bardzo dokładnych danych o olbrzymich obszarach leśnych. Są to jednakże dane, których zarówno postać, jak i zawartość informacyjna odbiega od tego, z czym dotychczas leśnicy mieli do czynienia. Prowadzone od wielu lat prace teoretyczne oraz praktyka dowodzą, że korzystając z fotogrametrii, a szczególnie z technologii skanowania laserowego (LiDAR) oraz tzw. dopasowania obrazów, można uzyskać bardzo dokładne dane o geometrycznym kształcie lasu. Są to dane umożliwiające analizowanie rozwoju nawet pojedynczych drzew. Obecnie podejmuje się badania mające na celu spożytkowanie tych precyzyjnych informacji w inwentaryzacji zapasu. Te zagadnienia stanowią podstawowy obszar zainteresowań badawczych Doktoranta, przedstawionych w autoreferacie i załączonych doń kopiach artykułów naukowych.

Charakterystyka i ocena pracy

Przedłożony do oceny autoreferat rozprawy doktorskiej pana mgr. inż. Pawła Hawryło zawarty jest na 25 stronach maszynopisu, do którego dołączono kopie trzech prac naukowych. Na początku znajdujemy krótkie streszczenie w językach polskim i angielskim (po jednej stronie), następnie zamieszczono spis treści, a dalej kolejne rozdziały autoreferatu.

Z rozdziału pierwszego (Struktura) wynika, że pracę doktorską stanowią trzy publikacje, które ukazały się w renomowanych czasopismach naukowych: *Forestry* (40 punktów wg listy MNiSW, IF 2,232), *Sylwan* (15 p. MNiSW, IF 0,481) oraz *Forests* (30 p. MNiSW, IF 1,951):

- P. Hawryło, P. Tompalski, P. Wężyk: Area-based estimation of growing stock volume in Scots pine stands using ALS and airborne image-based point clouds. *Forestry* 2017; 90, 686-696, doi: 10.1093/forestry/cpx026
- P. Hawryło: Określanie wybranych cech drzewostanów sosnowych z wykorzystaniem chmur punktów pozyskanych w procesie automatycznego dopasowania cyfrowych zdjęć lotniczych. *Sylwan* 161 (9): 707-714, 2017
- P. Hawryło, P. Wężyk: Predicting Growing Stock Volume of Scots Pine Stands Using Sentinel-2 Satellite Imagery and Airborne Image-Derived Point Clouds. *Forests* 2018, 9, 274; doi: 10.3390/f9050274

Redakcje czasopism, w których opublikowano prace, stosują ściśle przestrzegane i dokładne procedury oceny prac zgłaszanych do druku. Doktorant ma w w/w pracach znaczący udział, według załączonych oświadczeń w pracach opublikowanych za granicą odpowiednio: 80 i 65%, natomiast praca opublikowana w *Sylwaniu* jest samodzielna (100%). Doktorant miał zatem wiodący udział w przygotowaniu opublikowanych prac, który polegał na opracowaniu koncepcji badań, wykonaniu pomiarów terenowych, wykonaniu analiz statystycznych, opracowaniu wyników i przygotowaniu tekstu. Świadczy to o dobrej orientacji w tematyce badawczej i dobrym opanowaniu warsztatu badawczego – od zbierania danych, poprzez ich przetworzenie po końcowe opracowanie.

Określona w tytułach dwóch pierwszych prac tematyka pokrywa się w całości z tytułem autoreferatu, a w przypadku trzeciej pracy rozszerza ją o zagadnienie wykorzystania zdjęć satelitarnych.

Kolejne rozdziały autoreferatu stanowią zwarte i kompletne omówienie potrzeby, możliwości, znaczenia, szczegółowego uzasadnienia celu wykonanych badań, metodyki, przebiegu badań oraz uzyskanych wyników, wraz z dyskusją.

Potrzebę prowadzenia badań nad zaproponowanymi metodami Doktorant widzi w pewnych niedostatkach stosowanej w urządzaniu lasu statystycznej metody reprezentacyjnej, np. jej dużej pracochłonności na etapie zbierania danych terenowych. Ma to duże znaczenie wobec pojawiającego się deficytu pracowników. Innym problemem wskazywanym przez Doktoranta jest ograniczona wiarygodność wyników obecnie stosowanych metod inwentaryzacji na poziomie pojedynczego drzewostanu.

Możliwości udoskonalenia metod inwentaryzacji lasu wynikają z dynamicznego rozwoju technik geomatycznych, w tym przypadku szczególnie fotogrametrycznych i teledetekcyjnych. Były one przedmiotem licznych badań prowadzonych w kraju i za granicą, w których udowodniono, że za pomocą lotniczego skanowania laserowego, a także chmur punktów uzyskiwanych poprzez korelację obrazów (Doktorant używa tutaj, zresztą poprawnie, terminu *Image-derived Point Clouds*, IPC), można uzyskiwać wiarygodne informacje o podstawowych cechach drzew i drzewostanów, a także o zapasie. Doktorant wskazuje, że w literaturze światowej raportowane są różne dokładności tych dwóch metod, najczęściej na korzyść skanowania laserowego, oraz że na metodę IPC zwrócono uwagę, gdy okazało się że skanowanie laserowe jest wprawdzie bardzo dobrym źródłem danych o lesie, jednak bardzo kosztownym. Tymczasem podobny produkt (tzw. chmury punktów) można otrzymać z przetworzenia znanych i stosowanych w leśnictwie już od wielu lat zdjęć lotniczych, z tym że metoda IPC nie doczekała się jeszcze szerszych analiz w warunkach przyrodniczych naszego kraju. W innym miejscu autoreferatu Doktorant stwierdza także słusznie, że dodatkową zaletą zdjęć lotniczych jest to, że dla wielu obszarów można uzyskać zobrazowania archiwalne. Rzeczywiście, dane te sięgają daleko dalej wstecz niż dane skanowania laserowego, które mamy dopiero od niedawna (pierwsze „leśne” projekty skanowania laserowego w naszym kraju to lata 2005-2007). Korzystając jednakże z archiwalnych zdjęć lotniczych musimy liczyć się z naturalnymi zmianami na danym obszarze. Doktorant podjął wobec tego także próbę oceny, czy archiwalne zdjęcia lotnicze, mogą być używane w zaproponowanej metodzie inwentaryzacji. Pozytywny wynik badań tego aspektu upoważnił Doktoranta do stwierdzenia, że do wykonania w danym roku inwentaryzacji nie jest konieczne wykonywanie nowych zdjęć lotniczych, jeśli tylko istnieją zdjęcia sprzed kilku lat. Szanse na pozyskanie archiwalnych zdjęć są duże, gdyż naloty nad wieloma obszarami wykonywane są w odstępach ok. 3 lat.

Zastosowane w badaniach techniki przetwarzania i analizy statystycznej danych – np. algorytm *random forest* lub wskaźnik ΔAIC (*Akaike Information Criterion*), czy walidacja modeli za pomocą analizy *bootstrapowej*, należą do tych, które coraz częściej pojawiają się w pracach innych autorów. Zwraca uwagę także szerokie korzystanie przez doktoranta z oprogramowania *R*, które pozwala na swobodne kreowanie własnych procedur obliczeniowych, a nie poprzestawanie jedynie na algorytmach zapisanych w dostępnym oprogramowaniu teledetekcyjnym.

Do najważniejszych osiągnięć Doktoranta należy potwierdzone empirycznie stwierdzenie, że chmury punktów uzyskane z przetwarzania obrazów (ich dopasowania) w nieznacznym tylko stopniu ustępują chmurom ze skanowania laserowego, pod względem przydatności w modelach predykcyjnych służących inwentaryzacji zapasu. Dalej, ważnym stwierdzeniem jest także to, że dla poszczególnych źródeł chmur punktów optymalnymi mogą być różne zestawy zmiennych (predyktorów). Dotyczy to także różnic między chmurami pochodzącymi ze zdjęć RGB oraz CIR. Uzyskane błędy predykcji zasobności lasów, mierzone za pomocą błędu RMSPE nie są duże (poniżej 18%) co wskazuje na potencjał zaproponowanej metody. W badaniach stwierdzono także, że włączenie do modeli danych satelitarnych Sentinel-2 w niewielkim tylko stopniu przyczynia się do poprawy uzyskanych relacji i nie znajduje uzasadnienia do zastosowań praktycznych.

Doktorant ma świadomość, że przeanalizowany materiał i zastosowana metoda w obecnym ujęciu mogą być stosowane tylko w odniesieniu do jednogatunkowych i jednopiętrowych drzewostanów sosnowych, pochodzących z południowej Polski. Dla ewentualnego wykorzystania w innych warunkach przyrodniczych niezbędne będzie przeprowadzenie oddzielnych badań.

Pragnę podkreślić, że zrealizowany i opisany w publikacjach zakres badań jest obszerny, tak pod względem merytorycznym (kilka wątków badawczych, zaawansowane metody przetwarzania danych), jak i przestrzennym (duża liczba powierzchni próbnych wymagających pomiarów terenowych) i jest podobny do tych, jakie można spotkać w rozprawach doktorskich przedstawianych tradycyjnie w postaci maszynopisu.

Doktorant wniósł zauważalny wkład w rozwój metod inwentaryzacji lasu. Sądę także, iż tym co Go szczególnie i pozytywnie wyróżnia, jest umiejętność integrowania wiedzy z zakresu nauk leśnych z opanowaniem zaawansowanych technologii teledetekcyjnych oraz statystycznych metod przetwarzania danych.

Konkluzja

Omówione w autoreferacie oryginalne prace opublikowane w czasopismach naukowych, noszą cechy spójnego tematycznie zbioru: dotyczą zagadnień inwentaryzacji zapasu z wykorzystaniem kołowych powierzchni próbnych, stosują modele, w których zmienne objaśniające zostały wyprowadzone z chmur punktów skanowania laserowego lub z chmur punktów utworzonych w wyniku zastosowania algorytmów korelacji obrazów.

Stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr. inż. Pawła Hawryło pod tytułem: **"Określanie zasobności drzewostanów sosnowych metodą przetwarzania chmur punktów pochodzących z dopasowania zdjęć lotniczych oraz lotniczego skanowania laserowego"** w pełni spełnia warunki stawiane rozprawom doktorskim określone w obowiązującej Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z 14 marca 2003 r. (Dz.U. nr 65, poz. 595, z późniejszymi zmianami) i wnoszę o dopuszczenie Doktoranta do dalszych etapów przewodu doktorskiego.



Dr hab. inż. Krzysztof Będkowski, prof. UŁ