

Warszawa 7 grudnia 2019 r.

Dr hab. Jacek Borowski prof. SGGW
Katedra Ochrony Środowiska
Wydział Ogrodnictwa i Biotechnologii
SGGW w Warszawie

Recenzja pracy doktorskiej mgr inż. arch. Kamila Kędry

„Modele stosowane do opisu architektury drzew i możliwości praktycznego wykorzystania”

PODSTAWA WYKONANIA RECENZJI

Podstawą wykonania recenzji była uchwała Rady Wydziału Leśnego Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kołłątaja w Krakowie nr 150/2019 z dnia 18 września 2019 roku i wynikające z niej zlecenie Dziekana Wydziału prof. dr hab. Mariana Pietrzykowskiego z dnia 11 października 2019 roku.

WPROWADZENIE

Charakterystyka i precyzyjny opis budowy całego drzewa, w tym architektury nadziemnej części - korony, jest ważnym narzędziem pozwalającym oceniać jego funkcjonowanie w środowisku. Badania architektury koron pozwalają nie tylko na opis stanu aktualnego, ale co równie ważne a może i ważniejsze, na śledzenie zmian i przewidywanie rozwoju drzew rosnących w drzewostanach i poza nimi. Takie architektoniczne podejście jest uzasadnione i potrzebne. Pozwala na analizę istotnych cech morfologicznych drzewa, między innymi takich jak: liczba odgałęzień i ich grubość, kąty rozwidleń, czy długości międzywęźli.

W ostatnich latach jesteśmy świadkami rozwoju, stosowanych w leśnictwie, zaawansowanych technik laserowych, w tym naziemnych. Są one precyzyjne i coraz dokładniej odwzorowują architekturę drzewa. Jednak stosowanie metod laserowych wiąże się dużym nakładem pracy i koniecznością użycia drogiego sprzętu.

Dążenie do uproszczenia metod opisu architektury drzew jest bez wątpienia celowe. Stąd też podjętą przez mgr. inż. arch. Kamila Kędrę tematykę, należy uznać za ważną a jej przedstawienie, za w pełni uzasadnione.

Zdaniem recenzenta tytuł pracy, choć dobrze sformułowany, nie oddaje jednak istoty badań. Moim zdaniem głównym zadaniem podjętym w pracy, było opisanie i wykazanie zalet metody fotogrametrycznej stosowanej do opisu architektury drzew (Single Image Photogrammetry, SIP) w konfrontacji z innymi podobnymi technikami badawczymi stosowanymi w leśnictwie.

OCENA MERYTORYCZNA

Struktura pracy

Struktura pracy jest właściwa i przejrzysta choć, jak na dotychczasowe przyzwyczajenia nietypowa. Aby odnieść się do całości dysertacji, należy zapoznać się z dwiema opublikowanymi pracami. Właśnie ich wyniki są omówione w opracowaniu przedstawionym do recenzji.

- Jako „**Wstęp**” – rozdział pierwszy, Autor zaprezentował rodzaj przeglądu literatury, w którym zawarł wiadomości dotyczące definicji architektury drzew i ich jakościowych modeli. Wskazał na związane z architekturą właściwości drzew, które słusznie ukazał w powiązaniu z adaptacją do rodzaju siedliska, konkurencyjnością a nawet ryzykiem pożarów. Przedstawił również związek torii architektury drzew, głównie ich koron, z czynnikami środowiskowymi, takimi jak zasobność gleb, ukształtowanie terenu i warunki wietrzne. Przedstawił prace traktujące o zróżnicowaniu architektury pojedynczych drzew w monokulturach i drzewostanach mieszanych. Ta część dysertacji, choć krótka jest opracowana starannie i stanowi odpowiedni wstęp do dalszych rozważań.

W podpunkcie 1.1. Autor wskazuje na wagę podjętego w pracy problemu. Wykazuje, że badania przez niego zaproponowane, ze względu na przydatność w opisywaniu wertykalnej struktury lasu i modelowaniu drzewostanów, są potrzebne a nawet oczekiwane. Dotychczas większość wyników badań z wykorzystaniem metod teledetekcyjnych poparta jest o kosztowne pomiary naziemnego skaningu laserowego (Terrestrial Laser Scanning, TLS). Trzeba zgodzić się za autorem, że barak jest prostszej metody o zbliżonej dokładności.

Podpunkt 1.2. – cel pracy, jego treść i sformułowanie nie budzi zastrzeżeń.

W podpunkcie 1.3, – przedstawione są hipotezy, które w dalszych częściach pracy autor weryfikuje. To właściwy i logiczny tok postępowania.

Podpunkt 1.4. – opis ograniczeń w stosowaniu wybranej metody, wskazuje wyraźnie, że autor zajmuje się nadziemną architekturą drzew rosnących w lasach.

Następny punkt 1.5. – struktura pracy. Dla recenzenta jest zaskoczeniem umiejscowienie go w tym miejscu, wydaje się, że struktura pracy została już przedstawiona w spisie treści. Jeżeli wymaga objaśnień, to powinny one pojawić się zdecydowanie wcześniej, najlepiej zaraz po wstępie.

- Rozdział drugi został zatytułowany **Modele stosowane do opisu architektury drzew.**

Tu Autor logicznie przedstawił stopień złożoności i organizacji biosystemów. Zawarł też uwagi na temat pojedynczego drzewa, jako systemu. Pan Kamil Kędra bardzo trafnie zwrócił uwagę na modułową budowę drzew uwzględniając międzywęzła, segmenty i większe podsystemy. Słusznie

przywołał stwierdzenie prof. Francisa Hallé, że „Proces rozgałęziania jest jedną z najbardziej charakterystycznych cech drzew”. Wypada również zgodzić się z wielokrotnie wskazywaną przez Doktoranta tezą, że ta różnorodność warta jest badania. Na podkreślenie zasługuje krytyczne odniesienie się Autora do prac Godina z 2000 roku, w którym przedstawił sposoby opisu architektury drzew, jako globalne, modułowe i wieloskalowe.

Opisując modele jakościowe, przedstawione zostały najważniejsze typy architektoniczne drzew HO (Hallé & Oldeman, 1970). Szczegółowo scharakteryzowane zostały modele Rauh'a i Troll'a. Słuszne jest cytowane tu stwierdzenie, że środowisko ma ogromny wpływ na architekturę drzewa.

Zgodnie z danymi literaturowymi, modele ilościowe zostały podzielone na reprezentacje horyzontalne, trójwymiarowe i wertykalne. W przypadku horyzontalnej prezentacji architektury drzewa, bardzo przydatny jest rysunek 4., który syntetycznie wyjaśnia różne sposoby pomiarów.

Ostatnio przedstawiane są coraz bardziej precyzyjne trójwymiarowe modele architektury drzew (Quantitative Structure Model, QSM) oparte na nowoczesnych technikach skaningu laserowego i fotogrametrii, co Autor bardzo słusznie zauważył. Wykazał zalety i wady tych systemów. Krótko opisane reprezentacje wertykalne są tymi, które są najbliższe tematowi pracy. Tu Autor zauważa, że nie ma dotychczas metod pozwalających na uzyskanie reprezentacji wertykalnej bez potrzeby uprzedniego tworzenia modelu trójwymiarowego. Zasadnicze cechy modeli ilościowych, służących do opisu architektury drzew, zostały dobrze podsumowane w tabeli 1.

Właściwe badania nad metodą fotogrametryczną przy użyciu pojedynczego zdjęcia SIP (Single Image Photogrammetry), to najważniejsza i z pewnością nowatorska część całego opracowania. Oparta została o istniejącą już publikację „Tree architecture description using a single-image photogrammetric method (Gazda i Kędra 2017), która ukazała się w *Dendrobiology* i drugą zatytułowaną „Single-image photogrammetry for deriving tree architectural traits in mature forest stands: a comparison with terrestrial laser scanning” (Kędra, Barbeitol, Dassot, Vallet, Gazda 2019) wydrukowaną w *Annals of Forest Science*”.

Badania prowadzone były w dwóch etapach. Pierwszy dotyczył opracowania podstaw metodycznych i pierwszych testów w terenie z użyciem symulacji komputerowych, drugi to szczegółowe porównania wyników z uzyskanymi w wyniku zastosowania naziemnego skaningu laserowego.

Założono, że obraz z pojedynczej fotografii drzewa można traktować jak jego projekcję na teoretyczną płaszczyznę pionową, prostopadłą do kierunku wykonywanego zdjęcia. Przedstawione i omówione zostały trzy etapy tej metody od wykonania fotografii, poprzez jej transformację, do ręcznej wektoryzacji ugałęzienia.

Należy podkreślić, ogromną zaletę metody, dzięki jej zastosowaniu możliwe było zmierzenie wielu parametrów, w tym: pierśnicy i wysokość drzewa, szerokość i długość korony, długość i grubość gałęzi. Przy zastosowaniu metody SIP, potwierdzone zostały wcześniejsze doniesienia literaturowe o pozytywnej korelacji pomiędzy pierśnicą a długością i objętością systemu ugałęzienia, szerokością i długością korony oraz wysokością drzewa.

Przy użyciu wirtualnych modeli typu L-system, określone zostały błędy pomiaru. Stwierdzono, że błąd zależy od tego, czy mamy do czynienia z typem wzrostu monopodialnym, czy sympodialnym. Okazało się, że większy błąd pomiaru wynika ze zbyt małej odległości wykonania fotografii i stopnia odchylenia osi zdjęcia od poziomu. W dalszej części pracy przedstawione zostało porównanie otrzymanych wyników z uzyskanymi w rezultacie zastosowania naziemnego skaningu laserowego (TLS). W efekcie tych porównań stwierdzono, że błąd pomiaru zależy od rozpatrywanej cechy i może wynieść od 6% do nawet 40%. Ten ostatni, tak duży błąd, dotyczy jednak bardzo specyficznej cechy, jaką jest asymetria korony.

Bardzo interesujące okazało się stwierdzenie, że dokładność pomiarów, była niezależna od stopnia zagęszczenia drzewostanu. Przyznam, że przy ręcznym (właściwie przez oko ludzkie) wyznaczaniu, punktów (węzłów) na obrazie drzewa, w celu uzyskania segmentów reprezentujących osie pnia i gałęzi, wydaje się to bardzo trudne (bardzo proszę o sprecyzowanie, na jakiej podstawie autor to stwierdził?).

- **Dyskusja to czwarta część dysertacji.** Byłbym w tym przypadku za tytułem „Podsumowanie i dyskusja”, ponieważ umieszczone są w niej również elementy tego pierwszego. Zawiera podpunkty, w których oceniony został „Stopień rozwiązania problemu przedstawionego w pracy” i „Znaczenie wyników badań”. Na podstawie analiz Autor stwierdził, że metoda pozwala uzyskać wertykalny model opisujący architekturę drzewa, wskazał też cechy ilościowe, które można uzyskać na podstawie przedstawionego modelu wertykalnego.

Należy zgodzić się z ogólnie pozytywną oceną znaczenia wyników badań. Niewątpliwie zaprezentowana metoda zajmuje ważne miejsce pomiędzy, zaawansowanymi metodami pomiaru w oparciu o trójwymiarowe chmury punktów, a tradycyjnymi metodami stosowanymi dotychczas w praktyce leśnej. W dyskusji, autor podkreślił, że uzyskane w pracy korelacje pomiędzy cechami badanych drzew a ich pierśnicą, są zgodne z licznymi doniesieniami publikacyjnymi. Można to uznać za kolejne potwierdzenie rzetelności uzyskanych wyników. Przeprowadzone w pracy badania wykazały również korelacje między grubością i długością gałęzi. W tym miejscu autor zauważył podobieństwo do poprzednich prac, w tym bardzo odległych w czasie spostrzeżeń Leonarda da Vinci.

Nowością uzyskaną w wyniku przeprowadzonych badań zaprezentowanych w drugiej

publikacji, użytej jako podstawa pracy, jest wykorzystanie średniego kąta ugałęzienia, jako miary zmienności wynikającej z różnic w drzewostanach litych i mieszanych - to interesujące spostrzeżenie. Jeśli chodzi o możliwości dalszego wykorzystania metody SIP, to może być ona pomocna w gromadzeniu danych dotyczących pionowej struktury drzewostanu. W tej części dyskusji Kamil Kędra, sprawnie wykorzystując doniesienia innych autorów, przedstawia zalety opracowanej metody. Te zalety, to między innymi możliwość symulacji wzrostu drzew z uwzględnieniem skali architektonicznej pojedynczego drzewa i w efekcie całych drzewostanów.

W ostatniej części dyskusji rzetelnie podkreślone zostały ograniczenia w stosowaniu metody. Za najważniejsze można uznać ograniczenia wynikające z tego, że zakłada ona konieczność rozpatrywania architektury drzewa w jednej, wybranej płaszczyźnie pionowej, co uniemożliwia ocenę wielkości powierzchni horyzontalnej i objętości korony drzewa. Pewną wadą metody jest czasochłonność ręcznej metody wektoryzacji obrazów zarejestrowanych na fotografii. Oczywiście ograniczenia metody, jak w przypadku każdej opartej o fotografie, dotyczą również, jakości zdjęcia.

Praca zakończona jest trzema wnioskami, które są wyciągnięte prawidłowo i tak sformułowane.

PODSUMOWANIE

Podsumowując recenzję chciałbym stwierdzić, że Autor podjął w pracy bardzo istotną tematykę, o dużym znaczeniu praktycznym dla leśnictwa i szerzej badań środowiskowych. W pracy została szczegółowo opisana, następnie zastosowana i przetestowana metoda fotogrametryczna (Single Image Photogrammetry, SIP) do opracowania wertykalnego modelu architektury drzewa z wykorzystaniem pojedynczego zdjęcia cyfrowego. Jest ona oparta na solidnych podstawach naukowych. Metoda jest prostsza od stosowanych obecnie skomplikowanych trójwymiarowych metod odwzorowania architektury drzew (Quantitative Structure Model, QSM) opartych na technikach skaningu laserowego i fotogrametrii.

Na podkreślenie zasługuje duży nakład pracy związany z wykonaniem badań opartych o liczne pomiary terenowe prowadzone w Polsce i we Francji. Trzeba też zauważyć, że Autor podjął współpracę z naukowcami z Francji i ze Szwecji. Jeden z artykułów stanowiących integralną część pracy opublikowany został ze znanym Francuskim Narodowym Instytutem Badań Rolniczych INRA (Institut National de la Recherche Agronomique).

Sama praca jest skondensowana i jednocześnie treściwa, bez zarzutów od strony formalnej. Napisana jest w sposób komunikatywny – dobrym językiem. Autor skorzystał z bogatej, dobrze dobranej, współczesnej literatury, w sumie 96 pozycji.

Jako oceniający, jestem pod wrażeniem pracy wykonanej przez mgr. inż. arch. Kamila Kędrę.

WNIOSEK KOŃCOWY

Biorąc pod uwagę, jakość przedstawionej do recenzji pracy magistra inżyniera architekta Kamila Kędry, zatytułowanej **Modele stosowane do opisu architektury drzew i możliwości praktycznego wykorzystania** stwierdzam, że recenzowana dysertacja spełnia wymogi pracy doktorskiej stawiane w Ustawie z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z późniejszymi zmianami.

Tym samym wnoszę do Rady Wydziału Leśnego Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, o dopuszczenie mgr. inż. arch. Kamila Kędry do dalszych etapów przewodu doktorskiego.


Jacek Borowski