

Dr hab. inż. Krzysztof Będkowski
Prof. Uniwersytetu Łódzkiego
Uniwersytet Łódzki
Wydział Nauk Geograficznych
Instytut Geografii Miast, Turyzmu i Geoinformacji
ul. Kopcińskiego 31, 90-142 Łódź

Łódź, 8 lutego 2024 r.

Recenzja rozprawy doktorskiej
pana mgr. inż. Grzegorza Aleksego Kroka
pod tytułem

Szacowanie miąższości drzew na poziomie powierzchni próbnej przy pomocy technologii naziemnego skanowania laserowego

przygotowanej w Instytucie Badawczym Leśnictwa w Sękocinie Starym pod opieką naukową dr. hab. inż. Krzysztofa Stereńczaka, prof. IBL (promotora) oraz dr. inż. Bartłomieja Kraszewskiego (promotora pomocniczego)

Podstawa formalna opracowania recenzji

Recenzję rozprawy wykonałem zgodnie z uchwałą Rady Naukowej Instytutu Badawczego Leśnictwa podjętą w dniu 23 listopada 2023 r. oraz pismem prof. dr. hab. Iwony Skrzecz – Zastępcy Przewodniczącego Rady Naukowej IBL nr RN-0000-360/2023 z dnia 4 grudnia 2023 r.

Wstęp

Stosowane obecnie w leśnictwie metody inwentaryzacji zapasu drzewostanów opracowano i wdrożono do praktyki, w ich obecnym kształcie, ponad dwadzieścia lat temu. Przyjęte rozwiązania odpowiadają dostępnym wówczas technikom pomiarowym i technologiom przetwarzania danych. Z względu na prącochłonność prac terenowych dąży się do uzyskiwania wiarygodnych informacji o lasach na podstawie ograniczonej liczby mierzonych wielkości, spośród których kluczowymi są informacja o gatunku, grubość pnia na wys. 1,3 m (pierśnica) oraz wysokość drzew, zaś określenie miąższości poszczególnych drzew (gł. grubizny) opiera się na

opracowanych równaniach allometrycznych. Ustalenie wysokości drzew zawsze było trudne z względu na ograniczenie widoczności ich wierzchołków w wielu drzewostanach i z tego głównie powodu wielkość ta jest określana z najmniejszą dokładnością.

Wraz z opracowaniem fotogrametrycznej i zarazem teledetekcyjnej techniki skanowania laserowego można obecnie z dobrą dokładnością określać wysokość drzew realizując skanowanie z poziomu lotniczego. Niestety, nie wszystkie drzewa są widoczne i nadal dosyć trudnym jest powiązanie tak uzyskanych danych z wynikami pomiarów naziemnych, czyli ich przypisanie do odpowiednich drzew. Z drugiej strony, techniki skanowania naziemnego nie mogą być wykorzystane do wyznaczania wysokości drzew z tych samych przyczyn, które utrudniają to w metodach tradycyjnych, tj. z powodu braku widoczności górnych partii drzew i trudności tak wizualnego, jak i maszynowego rozpoznania poszczególnych pni drzew. Jednak bardzo ważną zaletą techniki naziemnego skanowania laserowego jest możliwość dosyć wiernego odwzorowania za jej pomocą kształtów pni drzew, już nie tylko na poziomie pierśnicy, lecz na długich odcinkach, co pozwala na obliczenie ich miąższości. Pan mgr inż. Grzegorz Krok postanowił wykorzystać tę cechę naziemnego skanowania laserowego do opracowania nowatorskiej metody określania miąższości grubizny całych pojedynczych drzew, a więc z uwzględnieniem także ich górnych części, a dalej - do inwentaryzacji zapasu drzewostanów na powierzchniach próbnych.

Ogólna charakterystyka rozprawy

Rozprawa liczy 120 stron. Po stronie tytułowej znajdujemy odpowiednie oświadczenia, a następnie streszczenie w języku polskim (s. 5-6) i j. angielskim (s. 7-8), podziękowania (s. 9), spis treści (s. 11-12), spis rycin (s. 13-15), spis tabel (s. 16), a także słownik pojęć (s. 17-18). Główna część rozprawy została podzielona na jedenaście części (rozdziałów): 1. Wstęp (s. 19-27), 2. Cel i zakres pracy (s. 28-29), 3. Hipotezy badawcze (s. 30), 4. Materiał badawczy (s. 31-39), 5. Metody badawcze (s. 40-59), 6. Wyniki (s. 60-77), 7. Dyskusja (s. 78-91), 8. Podsumowanie (s. 92-95), 9. Wnioski (s. 96-97), 10. Literatura (s. 98-105), 11. Załączniki (s. 106-120). Niektóre rozdziały zostały podzielone na podrozdziały, a te na dalsze – maksymalnie do trzeciego poziomu. Układ pracy, w sensie kolejności treści, jest bardzo przejrzysty i

logiczny, co – pragnę podkreślić - jest jej dużą zaletą. Odpowiada układom stosowanym w tego typu publikacjach naukowych. Moim zdaniem jednak Autor niepotrzebnie wyróżniał w podrozdziałach drugiego rzędu pojedyncze podrozdziały trzeciego rzędu. Na przykład podrozdział „4.1. Drzewa modelowe” ma wyodrębnioną treść ujętą w podrozdział „4.1.1. Skanowanie laserowe drzew modelowych”, przy czym nie ma tutaj podrozdziałów 4.1.2, 4.1.3, itd. Podobnie jest w rozdziałach 4.2, 5.1, 5.2 oraz 5.3. Nie ma potrzeby wyróżniania w danym rozdziale pojedynczego podrozdziału, jeśli nie wyodrębnia się innych fragmentów. Zastosowany w pracy układ, polegający na umieszczeniu w danym rozdziale treści jakby wstępnych, czy też wprowadzających, a po nim oddzielnego i jedyne podrozdziału jest niepoprawny.

Objętość poszczególnych części pracy i ich wzajemne proporcje wynikają z merytorycznego znaczenia omawianych zagadnień i są prawidłowe. Rozprawa stanowi jedną spójną całość. Tytuł rozprawy jest w pełni zgodny z jej zawartością. We wstępie oraz dalszych częściach pracy znajdują się odniesienia do 105 pozycji literatury, głównie zagranicznej. Doktorant wykonał zatem głębokie studia analizowanego zagadnienia, po czym sformułował i uzasadnił cele i zakres własnych badań, przyjął hipotezy i cele badawcze, oraz opracował i zrealizował właściwą metodykę badań. Uzyskane wyniki i ich dyskusja pozwoliły na sformułowanie uzasadnionych merytorycznie wniosków.

Ocena istotności i aktualności tematu rozprawy

Dzięki postępowi w rozwoju fotogrametrycznych technik pomiarowych zyskujemy obecnie narzędzia, które pozwalają na zbieranie coraz bardziej szczegółowych informacji o budowie lasu. Przejawia się to zarówno w możliwości objęcia pomiarem cech dotychczas trudnodostępnych, jak i zwiększeniu szczegółowości (liczby) oraz dokładności pomiarów. Dzięki temu możliwe jest konstruowanie nowych, bardziej efektywnych i bardziej dokładnych metod określania miąższości pojedynczych drzew oraz inwentaryzacji zapasu na powierzchniach próbnych.

Techniki skanowania laserowego – zarówno lotniczego, jak i naziemnego – dostarczają informacji o geometrycznych kształtach skanowanych obiektów o bardzo dużej szczegółowości i dokładności. Jednakże las, jako obiekt badań, jest trudno

mierzyć: z pułapu lotniczego jak dotąd nie ma możliwości wykrycia wszystkich drzew, natomiast z poziomu naziemnego niedostępnymi są do rejestracji górne, a szczególnie wierzchołkowe części drzew. Problemy te próbuje się rozwiązać, ze zmiennym powodzeniem, w licznych badaniach naukowych na całym świecie. Jednak nawet bardzo pozytywnie oceniane metody nie mogą być przenoszone bezpośrednio do praktyki naszego gospodarstwa leśnego ze względu na złożoność budowy lasów, co już jest wystarczającym powodem, by badania nad tym zagadnieniem w naszym kraju prowadzić. W przypadku skanowania naziemnego, oprócz oczywistych trudności w dostępie do wierzchołkowych części drzew, problemem jest także wzajemne przesłanianie się drzew, stąd konieczność wykonywania pomiarów z kilku stanowisk. Wciąż badanym zagadnieniem jest problem wyznaczania objętości tych części pni drzew, które są objęte inwentaryzacją. W wielu ośrodkach naukowych zaproponowano różnorodne koncepcje charakteryzujące się odmiennymi nakładami przy zbieraniu danych oraz dokładnością uzyskiwanych wyników. Pan mgr inż. Grzegorz Krok, jak wynika z treści pracy, doskonale poznał i wykorzystał dotychczasowy światowy dorobek koncepcyjny oraz praktyczny (m.in. dostępne oprogramowanie) do odpowiedniego przetworzenia danych, które opracowywał, ale także zaproponował własne, bardzo oryginalne – podkreślam – rozwiązanie, polegające na estymacji miąższości grubizny drzew na podstawie dokładnego pomiaru (skanowania laserowego) dolnych części ich pni. Pomija zatem konieczność osobnego pomiaru wysokości drzew, cechy której wyznaczenie z dobrą dokładnością jest dosyć trudne. Rezultaty badań są bardzo obiecujące i jeżeli tylko znajdą potwierdzenie w dalszych, tj. opartych na większym i bardziej różnorodnym materiale badaniach, mogą być swego rodzaju przełomem w metodach inwentaryzacji grubizny pojedynczych drzew i drzewostanów na podstawie powierzchni próbnych.

Cel i tezy rozprawy

Cel badań bardzo dobrze przedstawiono już w ostatnim akapicie przeglądu literatury (s. 27), a jest nim próba „...opracowania nowatorskiej metody określania miąższości grubizny drzew z wykorzystaniem danych TLS, która bazuje wyłącznie na informacji o wymiarach dolnej części pnia...”, przy czym „Zaproponowane podejście miało na celu wyeliminowanie potrzeby posiadania informacji o wysokości drzew oraz

znajomości przebiegu [kształtu – przypis mój] wyższych partii pni”. Autor rozprawy zdefiniował szereg celów szczegółowych (s. 28-29), które według mnie bardzo dobrze oddają istotę problemu i znajdują odzwierciedlenie w przeprowadzonych badaniach.

Dalej Autor rozprawy sformułował sześć hipotez badawczych (s. 30). Moim zdaniem jest ich zbyt dużo, a istotnymi dla całej rozprawy są hipotezy o nr. 1, 2 oraz 4 (choć z pewnymi uwagami, o czym piszę dalej):

„1. Miąższość dolnej części pnia jest mocno skorelowana z miąższością grubizny całego drzewa, dzięki czemu może być wykorzystana jako predyktor tej cechy”.

„2. Istnieje możliwość opracowania teledetekcyjnej metody oszacowania miąższości drzew stojących bez wykorzystania informacji o wysokości drzew, która pozwala na uzyskanie dokładności zbliżonych do tych, które uzyskiwane są tradycyjnym metodami”.

„4. Możliwe jest określenie zasobności na poziomie powierzchni próbnej przy zastosowaniu metody TLS, z dokładnością porównywalną do metody tradycyjnej”.

Moim zdaniem te trzy hipotezy można zawrzeć w jednej o następującym brzmieniu:

Możliwe jest określenie miąższości grubizny pojedynczych drzew oraz zasobności na poziomie powierzchni próbnej, z dokładnością porównywalną do metody tradycyjnej, na podstawie pomiarów miąższości dolnych części pni metodą naziemnego skanowania laserowego.

Hipotezy oznaczone jako 3, 5, 6 są, jak sądzę, raczej wynikiem przeprowadzonych badań. Ich sens merytoryczny jest już ujęty w celach szczegółowych (razem z badaniem korelacji między miąższością dolnych części pni i miąższością grubizny całych drzew).

Przyznać jednak należy, że hipotezy 1-6, jako całość, dobrze charakteryzują istotę podjętego w rozprawie problemu badawczego, w którym najistotniejszym jest założenie o możliwości rezygnacji z pomiarów wysokości na rzecz dokładnego ustalenia miąższości dolnych części pni i na tej podstawie – miąższości całych drzew. Założenie to, jak wynika z badań, okazało się bardzo trafnym. Interesującym jest

skądinąd, na ile w jego przyjęciu pomogło dobre zapoznanie się z literaturą dendrometryczną, a na ile sama intuicja badawcza? Zachęcam Autora do rozwinięcia tego zagadnienia podczas prezentacji rozprawy podczas jej publicznej obrony.

Wartość naukowa rozprawy

W pracy przedstawiono badania, które miały za zadanie zweryfikowanie hipotezy badawczej, według której można z wystarczającą dokładnością określać miąższość pojedynczych drzew stojących bez konieczności wyznaczenia ich wysokości. To odważne i oryginalne założenie, które nie zostało dotychczas sformułowane przez inne zespoły badawcze, a które dążyły raczej do jak najdokładniejszego modelowania całego drzewa. Jeśli weźmiemy pod uwagę, że główna masa grubizny drzewa znajduje się w dolnej części jego pnia, który stosunkowo dokładnie można pomierzyć za pomocą skanowania laserowego (a więc z małym błędem), to brak pomiarów części wierzchołkowej i wykorzystanie w to miejsce miąższości wyliczanej z zależności opartych wyłącznie na opracowanych modelach nie może wprowadzić zbyt dużych błędów do ostatecznego wyniku. Należało to jednak sprawdzić i w pracy wykazano, że te błędy są nieduże i akceptowalne, gdyż zbliżone do wyników uzyskanych za pomocą porównywanych metod - pomiaru sekcyjnego drzew oraz na podstawie powszechnie stosowanych w praktyce gospodarstwa leśnego równań allometrycznych.

Pod względem metodycznym badania przeprowadzono w sposób bardzo przejrzysty i według mnie poprawnie. Na etapie analiz wykonywanych dla pojedynczych drzew, na podstawie dużej próby ($n = 2983$) drzew różnych gatunków, pochodzących z lokalizacji na terenie całego kraju, pomierzono metodą sekcyjną szczegółowe charakterystyki kształtu pnia i finalnie wyznaczono miąższość ich grubizny. Jest to wielkość, która została określona z największą dokładnością i w badaniach służy jako odniesienie, referencja (V_{REF}). Została wyznaczona także miąższość drzew za pomocą równań allometrycznych (V_{ALLOM}), właściwych dla poszczególnych gatunków, w celu uzyskania wyników wprawdzie mniej dokładnych, jednak sposobem stosowanym w praktyce inwentaryzacji, na podstawie ograniczonej liczby cech opisujących drzewa – gatunek, wysokość, [pierśnica – dopisek mój] i pierśnicowa liczba kształtu. Kluczowymi dla badań są oryginalne pojęcia

wprowadzone przez Autora, a mianowicie skumulowana miąższość pnia (SMP) oraz model miąższości skumulowanej (MMS). Pierwsze oznacza miąższość liczoną dla coraz dłuższych odcinków pni – od podstawy do maksymalnej przyjętej wysokości 15 m, natomiast drugie jest oszacowaniem wielkości miąższości pnia na podstawie różnych wariantów SMP z wykorzystaniem wyprowadzonych modeli opartych na równaniach potęgowych (s. 43 rozprawy). Uwzględniono przy tym trzy warianty: bez korzystania z informacji o gatunku (MMS-BZG), z informacją o grupie gatunków – iglaste/liściaste (MMS-GRG) oraz z podziałem na 8 gatunków lasotwórczych (MMS-GAT). Analogicznie wyznaczono miąższość grupy kontrolnej 263 drzew pomierzonych z wykorzystaniem danych skanowania laserowego. Tutaj posłużono się, jak pisze Autor, wirtualnym pomiarem sekcyjnym drzew. Oczywiście pomiar ten musiał być poprzedzony starannym wyodrębnieniem tych części chmur punktów skanowania laserowego, które odpowiadały poszczególnym drzewom oraz wymodelowaniem kształtów drzew, co samo w sobie nie jest zadaniem łatwym. Autor zastosował tu metody opracowane przez innych badaczy, opracował także własne procedury. W efekcie można było wyznaczyć, za pomocą wcześniej opracowanych modeli, miąższość tych wirtualnych drzew tylko na podstawie dolnych części ich pni i porównać ją z miąższością referencyjną V_{REF} oraz V_{ALLOM} . Na poziomie powierzchni próbnych porównywano natomiast miąższość wszystkich drzew ustaloną za pomocą opracowanej metody z miąższością określaną według sposobu stosowanego w gospodarce leśnej. Nie wykonywano natomiast pomiarów sekcyjnych wszystkich drzew. Badania przeprowadzono przy tym tak, aby można było ocenić wpływ na uzyskiwane wyniki także takich czynników, jak stopień złożoności struktury przestrzennej lasu (wyróżniono jej trzy poziomy) oraz efekt wzajemnego przesłonięcia drzew, lub podzielenia ich na części, co w metodzie analizy prowadzonej automatycznie prowadzi do pominięcia części drzew lub stwierdzenia obecności drzew, których w rzeczywistości nie ma.

Badania wykazały, że zaproponowane rozwiązania pozwalają na wyznaczenie miąższości pojedynczych drzew oraz miąższości na powierzchni próbnej z dokładnością podobną do tej, jaką uzyskuje się za pomocą stosowanej w leśnictwie metody allometrycznej. Wynik ten ma bardzo duże, w pewnym sensie nawet przełomowe, znaczenie dla metod inwentaryzacji grubizny drzew i drzewostanów z wykorzystaniem naziemnego skanowania laserowego, bowiem uniezależnia od

trudnej do dokładnego wyznaczenia (i pracochłonnej) cechy, jaką jest wysokość drzew. Dociekliwość Autora pozwoliła także na ocenienie wpływu stopnia złożoności struktury lasu (w pewnych granicach okazał się nie wpływać istotnie na wyniki) oraz dokładności detekcji drzew – cecha ta może istotnie wpływać na dokładność estymacji miąższości na powierzchni próbnej.

W opisie przeprowadzonych badań brak wyjaśnienia niektórych parametrów, jak np. rozdzielczość – $\frac{1}{4}$ i jakość – $4\times$ (s.33). Nie wyjaśniono dlaczego do odróżniania liści od innych obiektów korzystano z charakterystyk geometrycznych zamiast danych RGB, które były rejestrowane (s. 33). Warto też zauważyć, że trzy punkty posiadające różne współrzędne przestrzenne zawsze wyznaczają trójkąt, a nie „przypominają wierzchołki trójkąta” (s. 33, w. dolny). Sposób rozmieszczenie sfer służących do wzajemnego połączenia chmur punktów uzyskanych z różnych stanowisk wpływa na dokładność chmury wynikowej. Najlepiej aby były rozmieszczone w przybliżeniu równomiernie w całej chmurze, bowiem skoncentrowanie ich tylko np. na poziomie gruntu spowoduje spadek dokładności współrzędnych tej części chmury, która jest odległa tj. w rejonie górnych partii koron. Jak rozmieszczano kule przy skanowaniu powierzchni próbnych? Na s. 38 Autor pisze, że w przypadku gdy w bardzo bliskiej odległości od środka powierzchni znajdowało się drzewo, które mogło mocno ograniczyć widoczność innych drzew, dopuszczalne było „niewielkie przesunięcie stanowiska”. Czy takie działanie ujęte jest w jakieś reguły? Jak wpływa na zapewnienie losowości próby i uzyskiwane wyniki? Na s. 47 zamieszczono informację, że rozmiar boku komórki siatki był równy 0,02 m (2 cm), co wydaje się wielkością bardzo małą w porównaniu z gęstością punktów skanowania wynoszącą 6,1 mm w odległości 10 m od skanera (s.33). Autor nie odniósł się w pracy do problemu jak zaliczać drzewa, które wyrastają na danej powierzchni próbnej, jednak na skutek pochylenia przekraczają jej granicę lub odwrotnie – wyrastają poza powierzchnią próbną i jako pochylone w nią „wchodzą”. Warto też zastanowić się, czy zastosowane metody przetwarzania chmur punktów skanowania laserowego w celu separacji gruntu oraz pojedynczych drzew sprawdzą się w warunkach terenu o zmiennym ukształtowaniu, tj. w warunkach górskich? Jak Autor rozprawy postrzega te problemy?

Na zakończenie tej części chcę podkreślić, że Autor dużo miejsca poświęcił na dyskusję uzyskanych wyników. Omówił i zinterpretował wyniki dla pojedynczych drzew oraz dla powierzchni próbnych, we wszystkich zastosowanych przekrojach

(wariantach) badawczych. Swoje odkrycia i przemyślenia przedstawił także na tle doniesień innych autorów. Wskazał również kierunki dalszych badań, identyfikując te zagadnienia, których rozwiązanie może usprawnić opracowaną metodę. Rozprawa jest zatem kompletnym opisem spójnego badania naukowego.

Uwagi dotyczące edytorskiego opracowania tekstu rozprawy

Rozprawa jest napisana dobrym i komunikatywnym językiem, choć znalazłem kilka błędów stylistycznych lub edytorskich. Autor wprowadził także do tekstu naukowego wyrażenia żargonowe lub kolokwialne. Niekiedy niezręczności te powodują trudność ze zrozumieniem tekstu. Już na początku streszczenia zabrakło stwierdzenia względem jakich metod ma być alternatywną metodą zaproponowana przez Autora. Na s. 5, w wierszu 17, jest mowa o „informacji gatunkowej”, a na s. 6, w wierszu 12 od dołu możemy przeczytać, że „...metoda dostarcza niższych różnic...”, podobnie jest też na s. 61 (modele MMS „dostarczają wyniki”), a na s. 71 modele „zwracały” niższe wartości przeciętnej zasobności... Na s. 24 użyto określenia „determinacja miąższości”, zamiast „określanie miąższości”. Pewne skróty, np. mgr lub dr (s. 9), skoro występują w formie dopełniaczowej powinny być zakończone kropką. Nie rozumiem, dlaczego Słownik pojęć (s. 17-18) nie został ułożony alfabetycznie? Niezbyt eleganckie jest zdanie zaczynające się od słów „Natomiast jeśli chodzi o...” (s. 19). Przy podawaniu jednostek miary (s. 22, 27, 37) warto stosować uznany w tekstach naukowych sposób zapisu, tj. np. km h^{-1} zamiast km/h . Znak „%” lepiej wygląda zapisany zaraz po liczbie, choć można także stosować spację. Na s. 37 czytamy, że dokonano oceny reprezentacyjności próby, lecz właściwym słowem jest tutaj „reprezentatywność”. Używane wśród specjalistów określenie „wzajemna rejestracja skanów” (s. 45) powinno być zastąpione lepszym opisem. Dalej na s. 61 znajdziemy sformułowanie, że wykresy liniowe odzwierciedlają zmianę dokładności modeli MMS „wraz ze wzrostem odwzorowania przebiegu pnia”, zamiast „wraz ze wzrostem wysokości, do której był odwzorowany kształt pnia”. Podobnego skrótu użyto na s. 67 (w. 6). Warto też zauważyć, że to wiatr, a nie jego prędkości (liczba mnoga?) wpływa na dokładność pomiaru kształtu pni (s. 90), natomiast skanery zbierają informacje o kształtach, a nie o przebiegu górnych partii koron drzew (s. 92). Wg Autora aplikacje rozwijane w ośrodkach naukowych są „wysoce konfigurowalne”

(s. 95) i domyślam się, że wymagają przyjęcia szeregu ustawień wielu parametrów sterujących pracą algorytmów. W tekście występują tzw. literówki, czyli zamiany liter, np. ą na ę itp. Literatura jest cytowana niekiedy błędnie w liczbie pojedynczej, podczas gdy dana pozycja ma kilku autorów. Zauważyłem, że dosyć często cytowana jest pozycja oznaczona jako Liang i in. 2018 (s. 21, 26, 28, 51, 57, 81, 84, 86, 87, 89) podczas gdy w spisie literatury występują tylko Liang i in. 2018a oraz Liang i in. 2018b. Brak w literaturze pozycji Bruchwald i in. 2017, powołanej na s. 19. Sama technika cytowania nie budzi zastrzeżeń – pozycje literatury są powoływane tak, że łatwo jest odróżnić które stwierdzenia pochodzą z cytowanej literatury, a które od Autora rozprawy.

Wnioski

Merytoryczną zawartość przedłożonej rozprawy doktorskiej oceniam bardzo pozytywnie. Uważam, że badania zostały zaplanowane i przeprowadzone z dużą starannością. Autor odpowiednio dobrał i przeanalizował literaturę, opracował bardzo oryginalną metodykę własnych badań, wreszcie zgromadził dane skanowania laserowego i dane referencyjne. Zaplanowany cel badań został konsekwentnie zrealizowany. Autor wykazał, że posiada odpowiednie wiedzę i umiejętności praktyczne, posiada umiejętność samodzielnego i zapewne też zespołowego prowadzenia badań naukowych, a także prawidłowego interpretowania uzyskanych wyników.

Za najważniejsze osiągnięcie uważam opracowanie i weryfikację koncepcji wykorzystania na potrzeby inwentaryzacji miąższości drzew dokładnych pomiarów dolnych części ich pni za pomocą naziemnego skanowania laserowego, co pozwoli na uniknięcie konieczności wyznaczania wysokości drzew. Również istotne jest określenie czynników wpływających na dokładność uzyskiwanych wyników. Praca stanowi istotny wkład do rozwoju metod inwentaryzacji drzew i drzewostanów.

Stwierdzam, że przedłożona przez pana mgr. inż. Grzegorza Aleksego Kroka rozprawa doktorska, pod tytułem **Szacowanie miąższości drzew na poziomie powierzchni próbnej przy pomocy technologii naziemnego skanowania laserowego**, spełnia warunki stawiane rozprawom doktorskim określone w ustawie Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20 lipca 2018 r., art. 187, z późniejszymi

zmianami (tekst jednolity: Dz.U. z 2022 r., poz. 574) i stawiam wniosek o dopuszczenie Doktoranta do dalszych etapów postępowania.

Liczne walory poznawcze oraz duży potencjał aplikacyjny sprawiają, że praca pana mgr. Grzegorza Aleksego Kroka zasługuje na wyróżnienie o co niniejszym wnoszę.

Dr hab. inż. Krzysztof Będkowski, prof. UŁ