

Recenzja rozprawy doktorskiej

przygotowana na wniosek Rady Dyscypliny Nauki Leśne

Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie z dn. 10 lipca 2024 r.

w związku z powołaniem na recenzenta przez Radę Wydziału Leśnego w dn. 9 kwietnia 2019 r.

(zn. spr. WL.5100.3.2013)

Imię i nazwisko kandydata:	mgr inż. Łukasz Ludwisiak
Tytuł rozprawy doktorskiej:	Matematyczny model wzrostu wczesnosukcesyjnych drzewostanów brzożowych na gruntach porolnych w Kampinoskim Parku Narodowym
Promotor:	prof. dr hab. inż. Michał Zasada
Recenzent:	dr hab. inż. Jarosław Paluch

1. Cel pracy

Celem recenzowanej pracy było opracowanie kompleksowego modelu wzrostu młodych drzewostanów brzożowych powstających w wyniku sukcesji naturalnej na gruntach porolnych Kampinoskiego Parku Narodowego (KPN). Zdaniem Autora pracy zbudowany opracowany model będzie przydatny w planowaniu i zarządzaniu gospodarką leśną.

Istotnie, wykorzystanie gruntów na których prowadzenie gospodarki rolnej stało się nieopłacalne jest ważnym zadaniem ujętym w Krajowym Programie Zwiększania Lesistości (1995). Zagospodarowanie tych gruntów może polegać zarówno na zalesianiu i prowadzeniu w kierunku półnaturalnych ekosystemów leśnych jak również na ich trwałym lub etapowym wykorzystaniu do uprawy plantacyjnej. W ramach kierunku plantacyjnego możliwe jest stosowanie różnej długości cykli produkcyjnych (od kilku do ponad 40 lat) w zależności od uwarunkowań siedliskowych i ekonomicznych. W obu przypadkach możliwe i celowe jest wykorzystanie spontanicznie powstających samosiewów brzożowych. Z tego punktu widzenia podjęcie badań nad wzrostem drzewostanów tego gatunku tworzących się w wyniku sukcesji naturalnej na gruntach porolnych jest w pełni uzasadnione. Tym bardziej, że w będących w użyciu Tablicach zasobności i przyrostu drzewostanów dane dla brzozy zestawione przez Tiurina są zapewne nieaktualne i obejmują drzewostany w wieku powyżej 10 lat. Ambitnym celem pracy było również stworzenie modelu rozwoju biomasy drzewostanu i jego komponentów (korzeni, pni, gałęzi, listowia). Takie dane są szczególnie przydatne w przypadku plantacji o krótkich cyklach produkcyjnych oraz w obliczeniach sekwestracji węgla w ekosystemach.

W krajowym piśmiennictwie opracowania dotyczące rozwoju młodych drzewostanów brzozowych pojawiły się dopiero w ostatnich dwóch dekadach, głównie dzięki zaangażowaniu zespołu w którym powstała recenzowana praca.

Niedosyt budzi uwzględnienie przy konstrukcji modeli tylko bardzo młodych drzewostanów w wieku do 12 lat i wysokości górnej do ok. 12,5 m. Modele obejmują tylko juvenilną fazę wzrostu brzozy (*sensu* Bruchwald 2002). Tak wąskie spektrum wieku ogranicza ich wykorzystanie przy planowaniu i optymalizacji długości cykli produkcyjnych oraz sposobu prowadzenia upraw plantacyjnych.

2. Układ, oprawa graficzna i styl pracy

Wraz ze stroną tytułową, streszczeniem w języku polskim i angielskim oraz spisem tabel i rycin praca liczy 154 str. Ma typowy układ z podziałem na rozdziały Wstęp (41 str.), Cel pracy (1 str.), Materiał i metodyka (38 str.), Wyniki (39 str.), Dyskusja (7 str.), Podsumowanie i wnioski (1 str.), Literatura (30 str.). Zawiera 31 tabel, 41 rycin oraz 40 wzorów zastosowanych funkcji.

Generalnie praca jest napisana poprawnym i zrozumiałym chociaż skromnym językiem. Szczególnie rozdział Wyniki obfituje w monotonnie powtarzalne frazy. W tekście zdarzają się błędy literowe, składniowe, interpunkcyjne i stylistyczne. Zasługą autora jest przedstawienie treści obfitującej w formuły, wzory oraz charakterystykę wariantów prowadzonych obliczeń w jasny i systematyczny sposób.

Tabele i ryciny mają oszczędną szatę graficzną. Mankamentem jest częste pomijanie objaśnień przedstawianych zmiennych i symboli wbrew generalnej zasadzie, że tabele i ryciny powinny być dla czytelnika zrozumiałe bez odwoływania się do tekstu. Na wielu wykresach i w tabelach brakuje jednostek zmiennych. Wykresy zawierają szczegóły niewyjaśnione w ich opisach (np. przedziały ufności dla regresji, oznaczenia kwantyli, etc.).

Literatura obejmuje 352 pozycje literatury w tym ok. 80% pozycji w jęz. angielskim. W spisie literatury występują liczne odstępstwa od kolejności chronologicznej i alfabetycznej. Sposób zestawienia literatury jest niejednolity, a dane bibliograficzne czasem niekompletne.

3. Ocena merytoryczna

3.1. Wstęp

Rozdział liczy 41 stron i zawiera omówienie roli zalesień w globalnym obiegu węgla i ochronie bioróżnorodności, zmiany lesistości kraju w ostatnich dziesięcioleciach i ich uwarunkowania, ekologiczną charakterystykę brzozy brodawkowatej i rolę tego gatunku w zasobach leśnych krajów europejskich. Drugą część poświęca Autor modelowaniu w leśnictwie, w tym modelom wzrostu drzewostanów brzozowych i modelowaniu wzrostu brzozy na gruntach porolnych.

Rozdział ten dobrze wprowadza czytelnika w problematykę pracy. Autor sięga po liczną i dobrze dobraną literaturę. Wartość tej części rozprawy zwiększyłoby omówienie zmian produktywności drzewostanów brzozowych w efekcie ocieplenia klimatu, metod hodowli tego gatunku w ramach kierunku plantacyjnego czy użyteczności metod bazujących na szeregach rozwojowych drzewostanów w warunkach zmian siedlisk.

3.2. Materiał i metodyka

Rozdział liczy 38 stron tekstu i zawiera omówienie warunków siedliskowych w KPN, sposób wyboru powierzchni, przeprowadzenia pomiarów na powierzchniach badawczych, prac laboratoryjnych i analiz obliczeniowych.



Materiał empiryczny stanowiły pomiary wykonane w leśnictwie Kaliszki KPN w trzech wytypowanych lokalizacjach. W każdej z nich powierzchnie zakładane były tak, by reprezentowały cztery umowne klasy wieku (1-3, 4-6, 7-11 i powyżej 11 lat). W każdej klasie wieku założono 3 powierzchnie tworząc 3 chronosekwencje. Na wszystkich powierzchniach próbnych wykonano pomiary: grubości szyi korzeniowych, grubości na wysokości 0,50 m i pierśnicy wszystkich żywych drzew, które przekroczyły wysokość 1,3 m oraz wysokości 50 drzew z całego zakresu grubości. Na każdej z powierzchni z całego zakresu grubości i wysokości drzew w drzewostanie wybrano losowo po 15 drzew próbnych (łącznie 180 drzew). Po ścięciu zostały one pomierzone sposobem sekcyjnym w celu określenia miąższości rzeczywistej w korze i bez kory. Spośród ściętych drzew na każdej powierzchni wybrano po pięć drzew reprezentujących przeciętną pierśnicę dla danej powierzchni oraz wykonano pełną analizę pnia. Dodatkowo, na powierzchniach próbnych reprezentujących 2 chronosekwencje (łącznie 8 powierzchni) wybrano po 5 drzew próbnych z całego zakresu grubości i określono ich biomasy z podziałem na korzenie, pnie, gałęzie i liście.

W rozdziale przedstawione zostały testowane modele cząstkowe wykorzystane do modelowania wzrostu wysokości, zagęszczenia drzew, konkurencji i przeciętnej pierśnicy, miąższości drzewostanów, biomasy korzeni, pni, gałęzi i liści oraz kryteria wyboru modeli cząstkowych. Przedstawiono również technikę przeprowadzenia walidacji zbudowanego modelu.

Wśród testowanych modeli cząstkowych znalazło się 7 statycznych i dynamicznych (anamorficznych lub polimorficznych) funkcji opisujących wzrost wysokości oraz 7 funkcji opisujących zmiany zagęszczenia drzew. Nasilenie konkurencji scharakteryzowano indeksem Harta. Zmienną tą wykorzystano następnie do określenia przeciętnej pierśnicy drzewostanu. Do obliczenia miąższości drzewostanu wykorzystano funkcję Schumachera i Halla a do modelowania zmian biomasy drzewostanu w czasie funkcję potęgową. W pracy określono również współczynniki przeliczeniowe miąższości drzewostanu i biomasy jego części nadziemnej. Przetestowano dokładność 12 funkcji opisujących biomasy korzeni, pni, gałęzi i liści pojedynczych drzew na podstawie zmiennych średnicy pnia (przy podstawie lub na pierśnicy) i/lub wysokości.

Do estymacji parametrów funkcji wykorzystano metodę najmniejszych kwadratów. W przypadku modeli cząstkowych opisujących zagęszczenie, z uwagi na duży błąd średni reszt modeli, przeprowadzono parametryzację metodą regresji kwantylowej. Wyboru najlepszych funkcji dokonano na podstawie oceny dopasowania modelu wyrażonego za pomocą sumy kwadratów reszt, pierwiastka błędu średniokwadratowego oraz współczynnika determinacji. W przypadku funkcji różniących się liczbą parametrów, ocenę dopasowania prowadzono z wykorzystaniem kryterium informacyjnego Akaikego oraz bayesowskiego kryterium Schwartza. Za najlepszą traktowano funkcję, dla której przynajmniej dwa obliczone parametry dopasowania były najlepsze. Graficznie przeanalizowano również zgodność rozkładów reszt z rozkładem normalnym oraz rozkład reszt względem wartości estymowanych.

Do walidacji modeli posłużyły 104 powierzchnie badawcze objęte pomiarami w ramach projektu badawczego NCN „Ekologiczne konsekwencje sukcesji wtórnej brzozy brodawkowatej (*Betula pendula* Roth.) na gruntach porolnych”. Materiał pomiarowy obejmował ponad 20 tys. drzew stojących oraz prawie 1300 drzew próbnych ściętych, w tym 200 drzew wykorzystanych do określenia biomasy. Walidację przeprowadzono dwutorowo. Po pierwsze, na rycinach porównano modele zmian wybranych cech drzewostanów z danymi empirycznymi reprezentowanymi przez 4 chronosekwencje. Po drugie porównano empiryczne i uzyskane z modelowania wartości wybranych cech drzewostanów (tj. przeciętnej pierśnicy, miąższości biomasy pni, korzeni, gałęzi i liści). Porównania przeprowadzono w trzech grupach: powierzchni położonych na glebach podobnych do tych, na których rosły drzewostany w KPN (36 powierzchni), powierzchni położonych na glebach odmiennych od tych w KPN (68 powierzchni) oraz dla całości materiału empirycznego (104 powierzchnie). Miarą dokładności modelu były w tym przypadku wartości średnie i odchylenia standardowe błędów procentowych. Ponadto

przetestowano normalność rozkładów błędu procentowego oraz istotność odchyleń wartości błędu. Wykorzystano w tym celu odpowiednio testy Shapiro-Wilka oraz Wilcoxon.

Uwagi do Metodyki:

- a. Wszystkie powierzchnie zostały założone w obrębie jednego leśnictwa KPN. Autor stwierdza, że „w wyniku lustracji terenowej, poprzedzonej analizą materiałów archiwalnych z zasobów KPN, wybrano powierzchnie najlepiej reprezentujące lokalne warunki rozwoju sukcesji wtórnej brzozy. Nie wyjaśnia jednak, co znaczy w tym kontekście „najlepiej reprezentujące”? Pobranie reprezentatywnej próby wymaga zastosowania odpowiedniego schematu losowania.
- b. Brak informacji na temat zróżnicowania warunków glebowych pomiędzy powierzchniami. Brak informacji na temat zróżnicowania indeksu bonitacyjnego pomiędzy powierzchniami. Na jakiej podstawie Autor uważa, że skonstruowany model charakteryzuje warunki regionalne?
- c. Nie podano informacji o wielkości powierzchni badawczych. Wspomniano tylko, że wielkość powierzchni próbnych była zależna od wieku i zagęszczenia drzew, powierzchnie miały kształt prostokąta oraz zawierały w swoim zasięgu co najmniej 250 drzew. Przy zagęszczeniu rejestrowanym na większości powierzchni między 30 a 200 tys. szt./ha, może to oznaczać wielkość powierzchni od 12 do 84 m². Jak na tak małych powierzchniach określano wysokość górną drzewostanu? Czy może mieć to wpływ na uzyskane wyniki?
- d. Zapusty brzozowe cechują się często niejednorodnym zagęszczeniem (co widać chociażby na zamieszczonej w pracy Ryc. 7). Efekt ten, oprócz zróżnicowania warunków siedliskowych, może także wynikać z odległości od źródła nasion. Problem ten nie jest w pracy poruszany a wydaje się istotny z punktu widzenia możliwości zastosowania modeli bazujących na wartościach sumarycznych i średnich zakładających względną jednorodność przestrzenną drzewostanu.
- e. Wykonywanie pomiarów w drzewostanach reprezentujących tą samą wąską klasę wieku w tym samym roku skutkuje tym, że w próbie znajdują się drzewa o identycznej historii warunków wzrostu związanych z klimatem. W efekcie uzyskuje się próbę obciążoną. Niezależnie od możliwości pozyskania danych obejmujących dłuższy okres w ramach zbierania materiału empirycznego, zagadnienie to powinno być zauważone. Warunki pluwialno-termiczne mogą mieć duży wpływ na wysokość i zagęszczenie osiągnięte przez bardzo młode drzewostany brzozowe.
- f. Dlaczego biomasy nie określano dla wszystkich chronosekwencji jeśli cechowały się one innym zagęszczeniem?
- g. Brak informacji w jakim okresie określano biomasę liści.
- h. Krótki komentarz do Ryc. 11 znacznie ułatwiłby zrozumienie konstrukcji modelu. W aktualnej formie i bez zapoznania się z dalszą częścią tekstu schemat jest niezrozumiały. Co Autor rozumie przez „substytutywny przepływ danych”?
- i. Funkcje $H=f(X,t)$ określone wzorami 1-3 zawierają zamiast jednego z parametrów (X) jego rozwiązanie dla znanych warunków początkowych. Dlaczego ten typ modeli Autor zalicza do modeli statycznych?
- j. Jakich interwałów czasowych używano do parametryzacji funkcji wyrażonych równaniami 4-7?



- k. Dlaczego w pracy nie uwzględniono powszechnie wykorzystywanych modeli wzrostu, np. logistycznego, Gomperta, Chapmana-Richardsa, Korfa, Bertalanffy'ego?
- l. Jakich danych użyto do parametryzacji funkcji wzrostu wysokości (wzory 1-7)? Z opisu metodyki wynika, że drzewa na których wykonywano analizy pnia miały wymiary zbliżone do średniej pierśnicy kwadratowej. Ich wysokości były więc przeciętnie niższe od wysokości górnej drzewostanu.
- m. W różnych warunkach siedliskowych przy tej samej wysokości górnej maksymalne zagęszczenia różnią się (są mniejsze na uboższych siedliskach). Indeks konkurencji Harta nie uwzględnia tej cechy, co może być źródłem błędu systematycznego.
- n. Nie określono statystycznej istotności różnic w dokładności predykcji testowanych funkcji ani błędu estymacji obliczonych parametrów. Choć zastosowana procedura pozwoliła na wskazanie funkcji o najlepszej dobroci dopasowania w pobranej niewielkiej próbie drzewostanów, w sensie statystycznym nie uzasadnia jednak traktowania tych funkcji jako najlepszych w populacji generalnej.
- o. W obrębie umownych klas wieku drzewostany cechowały się różnym zagęszczeniem. Oznacza to, że *de facto* schemat poboru próby nie uwzględniał powtórzeń. Wpływ stosunkowo niewielkiej liczby powierzchni na reprezentatywność wyników dotyczących średnich i sumarycznych charakterystyk drzewostanów pozostaje nieznaną. Tym niemniej rodzi obawy, że uzyskane parametry modelu mogą cechować się znacznym błędem.
- p. W części analiz, ze względu na znaczny błąd spowodowany dużą zmiennością wartości cech zastosowano regresję odporną, co zdaniem Autora zminimalizowało wpływ wartości odstających i tym samym przyczyniło się do wzrostu użyteczności opracowanych równań. Przy małej próbie, decyzja czy dana obserwacja ma charakter wartości odstającej czy wynika z rozkładu zmiennej jest zawsze arbitralna. Wzrost użyteczności opracowanych równań można osiągnąć przede wszystkim przez wykorzystanie próby odpowiedniej wielkości.
- q. Dlaczego do parametryzacji modeli nie wykorzystano materiału zastosowanego potem do walidacji, który obejmował znacznie większą liczbę powierzchni badawczych i pochodził przecież ze zbliżonego geograficznie obszaru Polski? Pozwoliłoby to na uzyskanie modeli o większej dokładności, lepiej oszacowanych błędach parametrów i obejmujących szersze spektrum siedlisk.
- r. Walidację przeprowadzonej dwutorowo m. in. poprzez porównanie modeli zmian wybranych cech drzewostanów z danymi empirycznymi reprezentowanymi przez 4 chronosekwencje wybranymi spośród 26. Na jakiej podstawie dokonano wyboru? Argument, że „powierzchnie reprezentowały drzewostany rosnące na glebach o różnym poziomie troficzności” nie jest przekonujący, gdyż wysokości górne w wieku 10 lat dla serii nr 13 i 24 są zbliżone.
- s. Na jakiej podstawie dokonano podziału na grupę powierzchni położonych na glebach podobnych/odmiennych do tych, na których rosły drzewostany w KPN?
- t. Jaki parametr rozkładu reprezentują kolumny „Pierśnica” i „Wysokość” w Tabeli 4?
- u. Obliczanie parametrów rozkładu (średnia/mediana/odch. std./wsp. zmienn.) dla 3 drzewostanów w klasie wieku jest pozbawione sensu (Tabela 4a).



- v. W rozdziale Metodyka na str. 50/54/58/64/67 pojawiają się fragmenty tekstu które bardziej pasują do Wstępu lub Dyskusji.

3.3. Wyniki

W rozdziale Wyniki na 39 stronach Autor przedstawia parametry testowanych modeli wraz z oceną ich dopasowania.

Uwagi do rozdziału Wyniki:

- a. Autor stwierdza, że wykorzystując regresję kwantylową do estymacji zagęszczenia uzyskano wyniki o mniejszej średniej i rozrzucie błędów niż w przypadku metody najmniejszych kwadratów. Nie podaje jednak wartości żadnych statystyk dopasowania. Zamieszczona Ryc. 17 przedstawia wprawdzie rozkład błędu procentowego parametryzowanego metodą najmniejszych kwadratów i regresji kwantylowej ale na materiale walidującym. Umieszczenie tych wyników w tej części jest mylące.
- b. Wzory nr 35, 36, 37-40 powinny być przedstawione w Metodyce a nie w Wynikach. Ponadto wzór nr 36 opisuje zależność przy nieznanym (estymowanym) zagęszczeniu, a nie jak wynika z opisu, przy znanym zagęszczeniu.
- c. Tabela 17 zawiera raczej sumę kwadratów odchyleń (RSS) a nie sumę błędów kwadratowych (SSE).
- d. W jaki sposób określono dokładność oszacowania współczynnika przeliczeniowego biomasy nadziemnej części drzewostanu (BEF_{ABG}) jeśli sama biomasa drzewostanu oraz jego miąższość były estymowane?
- e. Tabela 21 jest powtórzeniem wartości z Tabeli 20.
- f. Opis ze str. 90 powinien się znaleźć w Metodyce.
- g. Jak wyjaśnić, że błąd estymacji miąższości drzewostanu w grupie powierzchni położonych na glebach podobnych do tych w KPN jest kilkadziesiąt razy większy od błędu w grupie powierzchni położonych na glebach odmiennych od tych w KPN (Tabela 24)? Jak wyjaśnić, że błąd estymacji miąższości drzewostanu w pierwszym wariacie obliczeń (tzn. gdy znana wysokość górna i zagęszczenie) jest większy niż w wariacie drugim (gdy znana wysokość górna i nieznanne zagęszczenie)?
- h. Jak wyjaśnić, że błąd estymacji biomasy strzały w grupie powierzchni położonych na glebach podobnych do tych w KPN jest znacznie większy od błędu w grupie powierzchni położonych na glebach odmiennych od tych w KPN (Tabela 26)? Ta sama uwaga dotyczy błędu estymacji biomasy nadziemnej (Tabela 30)?
- i. Dane w Tabeli 24 i na Ryc. 24 nie korespondują ze sobą. To samo dotyczy Tabel/Rycin 25, 26, 28, 30.
- j. Jakie są parametry modeli zobrazowanych liniami na ryc. 32-41?

- k. Nie jest jasne, na podstawie jakich kryteriów oceniano zbieżność wyników pomiarów z wynikami otrzymanymi z opracowanego modelu (ryc. 32-41). W większości przypadków trajektorie rozwoju otrzymane z chronosekwencji różnią się od tych uzyskanych z modelowania. Niezależnie od wizualizacji wybranych wyników, zbieżność danych empirycznych i wyników modelowania można wyrazić liczbowo. Pozwoliłoby to na wykorzystanie kompletu 26 dostępnych chronosekwencji. Interpretacja rozbieżności trajektorii rozwoju otrzymanych dla chronosekwencji i modelu również nie jest oczywista, gdyż źródłem braku zbieżności może być tu zarówno błąd modelu jak i zestawienie w tej samej chronosekwencji drzewostanów o odmiennej trajektorii rozwoju.
- l. Wniosek, że wzrost analizowanych drzewostanów odbiega od trendu opisanego modelem zawartym w tablicach zasobności Tiurina zestawionych przez Szymkiewicza (str. 110) jest bezpodstawny (choć bardzo prawdopodobny). Tablice Szymkiewicza podają wysokość przeciętną a nie wysokość górną. W młodych drzewostanach o dużym zagęszczeniu różnice między wysokością górną i przeciętną mogą być znaczne.
- m. Praca zyskałaby dodatkowy walor poznawczy, gdyby zbudowany model porównano z innymi, nowocześniejszymi modelami wzrostu (np. oferowanych w dostępnych symulatorach wzrostu drzewostanów lub publikowanych np. Lockow K-W, 1997, Die neue Sandbirken-Ertragstafel – Aufbau und Bestandesbehandlung, Beiträge für Forstwirtschaft und Landschaftsökologie, 31: 75-84).

3.4. Dyskusja

W dyskusji Autor powinien nie tylko odnieść się do zastosowanych metod i uzyskanych wyników, ale także zaprezentować znajomość tematu oraz umiejętności wnikliwej analizy i prowadzenia merytorycznego dyskursu. Tymczasem dyskusja jest stosunkowo lakoniczna i zdecydowanie poniżej oczekiwań.

Autor porusza zagadnienie zalet i wad modeli drzewostanowych i pojedynczego drzewa, porównuje modele wzrostu Chapmanna i Bircha (które przecież nie były wykorzystywane w pracy), krótko omawia wpływ zagęszczenia, warunków siedliskowych, zróżnicowania regionalnego na przebieg wzrostu wysokości drzewostanu, związek między przeciętną grubością drzew a zagęszczeniem, warunkami siedliskowymi i przyrostem biomasy a intensywnością zmian zagęszczenia, wpływ uwarunkowań lokalnych na dokładność estymacji biomasy drzewostanów.

Brak podziału na podrozdziały utrudnia przyporządkowanie fragmentów tekstu do części pracy, tym bardziej, że Autor nie zawsze odnosi się wprost do swoich wyników. W tej sytuacji Czytelnik może czuć się dezorientowany, dlaczego akurat ten a nie inny wątek dynamiki drzewostanu jest poruszany i jaki ma to związek z wykonanymi badaniami. W dyskusji zabrakło krytycznego podejścia do zastosowanej metodyki, uzyskanych wyników oraz wyraźnego wskazania, które komponenty modelu są satysfakcjonujące a które nadal wymagają doskonalenia.

3.5. Podsumowanie i wnioski

Autor zamieszcza 7 punktów o bardzo dużym stopniu ogólności. Niektóre z nich (np. pkt 5) są zaskakujące, gdyż nie mieszczą się w celu pracy, nie były przedmiotem analizy i zostały jedynie zdawkowo potraktowane w dyskusji. Zaskakujące jest również umieszczenie w tej najważniejszej przecież części pracy informacji o zastosowaniu regresji kwantylowej, chociaż metoda ta była wykorzystana tylko jednokrotnie w pracy a jej wpływ na dokładność estymacji całego modelu nie był przedmiotem szczegółowych analiz. W podsumowaniu zabrakło natomiast syntetycznej informacji o dokładności zbudowanego modelu, obszarach jego doskonalenia oraz proponowanym sposobie implementacji.

W Streszczeniu (str. 6) Autor pisze, że opracowany model stanowi skuteczne narzędzie służące ocenie i prognozowaniu wzrostu nie tylko w odniesieniu do młodych drzewostanów, ale także w stosunku do drzew starszych, co także zwiększa możliwość przyszłego wykorzystania. Stwierdzenie to nie wynika wprost z wykonanych analiz.

4. Ocena końcowa

W swojej rozprawie doktorskiej Pan Łukasz Ludwisiak opracował oryginalny i kompleksowy model rozwoju młodych drzewostanów brzożowych powstających w wyniku sukcesji naturalnej na gruntach porolnych Kampinoskiego Parku Narodowego. Model należy do kategorii modeli bazujących na wartościach sumarycznych i średnich i obejmuje kilka modułów umożliwiających estymację wzrostu wysokości, zagęszczenia drzew, przeciętnej pierśnicy, miąższości drzewostanów, biomasy korzeni, pni, gałęzi i liści. Istotnym walorem dzieła jest całościowe podejście do zagadnienia i zrealizowanie wszystkich etapów prac, poczynając od założenia i zebrania danych na powierzchniach badawczych, nadania zebranym informacjom wymiaru liczbowego, poprzez zgromadzenie zestawu funkcji przydatnych do matematycznego opisu analizowanego procesu, wybór najlepszych funkcji i ich parametryzacji, aż do oceny działania modelu na niezależnym materiale walidacyjnym. Skromny materiał empiryczny zebrany w Kampinoskim Parku Narodowym wynika zapewne z indywidualnego charakteru pracy Doktoranta, który z oczywistych względów nie był w stanie samodzielnie zgromadzić zbioru danych którymi mogą dysponować duże zespoły badawcze. Autor rozprawy zastosował poprawne metody analizy danych, z których niektóre wymagały złożonych obliczeń i programowania procedur w środowisku SAS. Istotnym atutem pracy jest wprawdzie oszczędny ale trafny wybór syntetycznych miar i wskaźników służących prezentacji uzyskanych wyników, co pozwoliło uniknąć przeładowania treści drugorzędnymi szczegółami i ułatwia śledzenie wyników. Cytowana literatura wskazuje na solidną orientację w aktualnym stanie wiedzy w obszarze modelowania drzewostanów. Zawarte w recenzji pytania, uwagi i spostrzeżenia nie deprecjonują walorów rozprawy ale służą wskazaniu możliwości doskonalenia przedstawionej procedury budowania modelu oraz obszarów w których jej dokumentowanie wymaga doprecyzowania.

*Biorąc pod uwagę powyższe, ja, niżej podpisany stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska **Pana mgr. inż. Łukasza Ludwisiaka** spełnia warunki określone w art. 13.1 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. nr 65 poz. 595 z późn. zmianami). Tym samym wnioskuję do Rady Dyscypliny Nauki Leśnej Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie o dopuszczenie **Pana mgr. inż. Łukasza Ludwisiaka** do dalszych etapów przewodu doktorskiego.*



.....