

dr hab. inż. Piotr Wężyk, prof. UR  
Instytut Zarządzania Zasobami Leśnymi,  
Zakład Urządzania Lasu, Geomatyki i Ekonomiki Leśnictwa,  
Wydział Leśny Uniwersytetu Rolniczego im. H. Kołłątaja  
w Krakowie; al. 29 Listopada 46  
31-425 Kraków

Kraków, dn. 05.08.2019 r.

## **RECENZJA**

### **rozprawy doktorskiej Pana mgr Macieja Bartolda, “Zastosowanie wieloletnich obserwacji satelitarnych do monitorowania wegetacji lasów w Polsce” –**

przedłożonej Radzie Wydziału Geografii i Studiów Rolniczych Uniwersytetu Warszawskiego i przygotowanej pod kierunkiem Promotora: Pani prof. dr hab. Katarzyny Dąbrowskiej-Zielińskiej z Instytutu Geodezji i Kartografii w Warszawie.

#### **Podstawa przygotowania recenzji**

Formalną podstawą sporządzenia recenzji jest pismo Dziekana Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego, Pana prof. dr hab. Macieja Jędrusika z dnia **07.06.2019** roku. W niniejszym piśmie zostałem wskazany jako recenzent w przewodzie doktorskim Pana mgr Macieja Bartolda i na tej podstawie dokonałem recenzji pracy, która niniejszym przedkładam.

#### **Wstęp**

Dysertacja autorstwa mgr Macieja Bartolda została przedłożona na Wydziale Geografii i Studiów Rolniczych Uniwersytetu Warszawskiego, a jej zakres tematyczny jest związany z wcześniejszymi i obecnie realizowanymi badaniami w tej Uczelni w zakresie obserwacji wskaźników roślinności obliczanych na podstawie przetwarzania obrazów satelitarnych w celu analiz monitorowania klas pokrycia i użytkowania terenu (*ang.* LULC; Land Use Land Cover).

#### **Ocena formalna pracy oraz komentarze recenzenta**

Przedłożona do recenzji rozprawa obejmuje 156 stron maszynopisu i została sporządzona w języku polskim (poza 1 stroną streszczenia w języku angielskim). Zawiera ona łącznie 18 tabel i 50 rycin. Tytuł dysertacji, z którym recenzent nie w pełni się zgadza (zostanie to szczegółowo w dalszej części recenzji) odpowiada generalnie treści pracy, a sam układ rozprawy, nie odbiega, od zazwyczaj stosowanego w naukach przyrodniczych.

Struktura przedłożonej dysertacji obejmuje: Spis treści (2 strony), Wprowadzenie (10 stron, 6,9% całego tekstu rozprawy), Przegląd literatury (19 str. 13,1%); Problem badawczy, cel i zakres pracy (3 str., 2,1%); Obszar i obiekt badań (12 str., 8,3%); Materiały i metody badawcze (20 str., 13,8%); Wyniki badań (37 str., 27,5%); Analiza i dyskusja wyników (8 str., 5,5%); Podsumowanie i wnioski (5 str., 3,4%); Bibliografia (27 str., 18,6%); Strony internetowe oraz Spis rycin i tabel (4 str., 2,8%).

Poszczególne rozdziały zostały podzielone na czytelne podrozdziały ułatwiające studiowanie pracy i nawigowanie się po jej zawartości przez czytelnika.

Na podkreślenie zasługuje niezmiernie pokaźny, bo liczący 27 stron spis aż 319 pozycji literaturowych - Rozdział Bibliografia. Do tego dochodzą dodatkowo cytowania ze stron internetowych. Publikacje, które nie są starsze niż 10 lat (aż 124 poz. !) stanowią 38% wszystkich cytowań w dysertacji, a te opublikowane w ostatnich 5 latach (79 poz.) – aż 25%. Fakt ten podkreśla ogromny wysiłek i zaangażowanie doktoranta w śledzenie aktualnych kierunków badań na świecie w zakresie jego rozprawy a także gruntowne poznanie podstaw zagadnień choćby zagadnień klimatologicznych.

W rozdziale **1.Wprowadzenie**, Doktorant rzeczowo wyjaśnia terminy, które pojawiać się będą w dalszych częściach pracy, stanowiące w zasadzie główny cel, tj. monitorowania faz fenologicznych drzewostanów liściastych na podstawie obserwacji wskaźników roślinności określanych na podstawie zobrażeń satelitarnych z programu VEGETATION. Autor dysertacji na podstawie literatury i serwisów internetowych IMGW analizuje takie zagadnienia jak: okres wegetacji, meteorologiczny okres wegetacji, pojawy i fazy fenologiczne, sezony czy indeksy fitoklimatyczne – wszystkie w aspekcie meteorologii, rolnictwa i leśnictwa a także zmian klimatycznych jakimi jesteśmy świadkami w ostatnich dekadach.

W **podrozdziale 1.2. Sensory Vegetation**, czytelnik dysertacji znajdzie szczegółowy opis programu kosmicznego oraz sensorów stosowanych do niskorozdzielczych obserwacji teledetekcyjnych roślinności naszej planety, tj. z satelitów SPOT-4 oraz SPOT-5 oraz z satelity PROBA-V. Kontynuacja programu VEGETATION na tych ostatnich, pozwala na prowadzenie badań od roku 1998, a oba sensory wykazują bardzo wysoką zgodność, co potwierdzają liczne badania i wdrożenia na poziomie regionalnym i globalnym cytowane przez Doktoranta. Ułatwiają to także same produkty przetworzeń obrazów SPOT-VGT oraz PROBA-V udostępniane nieodpłatnie przez VITO w postaci danych: 1-dniowych, 5-dniowych oraz 10-dniowych tzw. dekadowych (dla kompozycji wskaźnika NDVI).

Rozdział 2. **Przegląd literatury** rozpoczyna autor od przeglądu publikacji dotyczących wykorzystania panchromatycznych zdjęć lotniczych i prób fotointerpretacji na nich, gatunków drzew w poszczególnych fazach fenologicznych. Właściwości budowy anatomicznej liści czy igieł oraz zróżnicowanie pod kątem barwników asymilacyjnych powoduje zmiany w zakresie oraz ilości pochłanianego i odbijanego przez aparat asymilacyjny drzew promieniowania elektromagnetycznego pochodzącego od Słońca. Rozwój fotografii doprowadził do powstania filmu czułego na zakres bliskiej podczerwieni (okres II wojny światowej), który na długie dziesięciolecia, aż do epoki wdrożenia lotniczych kamer cyfrowych, zdominował programy monitoringowe szczególnie w leśnictwie służące obserwacjom stanu zdrowotnego lasów. To właśnie poziom odbijanego przez rośliny promieniowania w zakresie NIR (ang. Near InfraRed) jest jednym z decydujących elementów pozwalających na określanie stanu rozwoju i kondycji aparatu asymilacyjnego (budowa anatomiczna liścia – występowanie pęcherzyków powietrza przy ściankach komórkowych; zawartość wody – turgor- pochłanianie NIR). Autor dysertacji analizuje prace różnych badaczy (recenzenta zaskakują trochę wysokie wartości odbicia NIR na poziomie 70% opisywane dla osiki), budując tym samym podstawę zrozumienia procesów interpretacji znormalizowanego różnicowego wskaźnika roślinności (NDVI) na przetworzeniach obrazów pozyskanych sensorami VEGETATION.

W **podrozdziale 2.2.** doktorant przedstawia rys historyczny w zakresie teledetekcji satelitarnej a szczególnie programu LANDSAT (NASA) oraz TIROS i NOAA oraz opracowania pierwszych wskaźników roślinności takich jak RVI czy NDVI służących obserwacjom w rolnictwie, leśnictwie czy innych biomów na kontynentach w skali globalnej. Wskaźniki te ulegały dalszym modyfikacjom prowadząc do powstania nowych indeksów takich jak SAVI czy MSAVI uwzględniających negatywny wpływ odbicia promieniowania od gruntu niepokrytego roślinnością. Kolejne ich modyfikacje ukierunkowane były w celu ograniczenia negatywnego wpływu atmosfery na wartości rejestrowanego odbicia. Na koniec tego podrozdziału autor omawia wykorzystanie danych obrazowych pochodzących z konstelacji satelitów Terra oraz Aqua (MODIS), a szczególnie indeksów roślinności NDVI oraz EVI w skali globalnej.

**Podrozdział 2.3.** jest jakby wprowadzeniem do zasadniczego celu pracy, czyli obserwacji szeregów czasowych wskaźników roślinności i ich korelacji z danymi meteorologicznymi. Doktorant zwraca uwagę na oprogramowanie TIMESAT, które szczegółowo omawia w rozdziale 5.3. oraz BFAST czy system ForWarn. Wszystkie one

bazowały na wykorzystaniu danych obrazowych rejestrowanych z satelitów obserwacyjnych takich jak MODIS, SPOT-VEGETATION czy meteorologicznych jak NOAA. Autor omawia też przebieg krzywych indeksu NDVI w okresie sezonu wegetacyjnego służących korelacji określania okresów fenologicznych roślin z obserwacjami satelitarnymi. **Podrozdziale 2.5** autor zwraca uwagę na bardzo ważny aspekt pojawienia się nowych narzędzi badawczych takich jak BSP wyposażonych w kamery wielospektralne, dzięki którym możliwa staje się integracja danych wieloźródłowych i wielo-systemowych. Platformy BSP stanowią niewątpliwie najbardziej dokładną referencję dla badań z poziomu satelitarnego przy odpowiednim ich wykorzystaniu. Trochę niedosytu recenzentowi sprawia właśnie rozdział **2.5. Najnowsze techniki teledetekcyjne oraz 2.6. Podsumowanie stanu wiedzy**, w których autor całkowicie pomija kwestie obecności w badaniach roślinności sensorów (skanerów linijkowych) hiperspektralnych czy systemów LiDAR takich jak: ALS, ULS czy SLS a także zobrazowań radarowych. Chmury punktów 3D ze skanowania laserowego stanowią niekiedy bardzo istotne informacje dla modeli statystycznych uwzględniających wysokość pokrywy roślinnej czy przede wszystkim jej zwarcie (w tym LAI) oraz o orografii terenu i samej pokrywy roślinności (model NMPT – decydujący często o ilości energii docierającej do ekosystemu leśnego). O ile modelowanie 3D nie było przedmiotem dysertacji to warto zdaniem recenzenta choćby wspomnieć o najnowszym stanie technologii teledetekcyjnych w zakresie globalnego monitoringu roślinności, tym np. sensorów GEDI lub IceSat-2 (NASA).

Rozdział 3. **Problem badawczy, cel i zakres pracy** rozpoczyna się od trochę chybionego zdaniem recenzenta stwierdzenia, iż nikt jeszcze nie zajmował się w polskim leśnictwie określeniem okresu wegetacyjnego dla lasów liściastych na podstawie zobrazowań danych teledetekcyjnych. Autor stwierdza jedynie fakt ale prawdziwym problemem badawczym jaki powinien być tu zdefiniowany nie powinien być brak publikacji ale to czy stwierdzić można korelację pomiędzy obserwacjami naziemnymi wybranych parametrów meteorologicznych a wskaźnikami (indeksami) roślinności określanymi z poziomu satelitarnego w skali całego kraju przy uwzględnieniu zróżnicowania gatunkowego, wymagań ekologicznych drzew oraz specyfiki regionów fizjo-geograficznych.

W dalszej części **podrozdziału 3.2** autor definiuje jednoznacznie cel pracy - czyli określenie przydatności danych z misji VEGETATION do monitorowania: długości, początku i końca okresu wegetacyjnego lasów liściastych w Polsce. Doktorant prezentuje też cel dodatkowy - czyli określenie zależności okresu wegetacyjnego od warunków

meteorologicznych. W rozdziale tym, niestety mieszają się trochę Autorowi, cele pracy z metodyką, w tym szczególnie **podrozdział 3.3. Zakres pracy**. Zaburza on trochę typowy układ pracy doktorskiej w moim przekonaniu. Autor pisze np. o przeglądzie literatury, który jest już przed tym rozdziałem, czy o wyborze obszaru czyli opisuje rozdziały jakie mają za moment nastąpić. Zdaniem recenzenta podrozdział ten jest po prostu zbędny, bo każdy czytelnik nabierze wyobrażenia o strukturze pracy czytając ją wnikliwie. Poza tym, jeśli nie są to np. cele cząstkowe (a niektóre padające stwierdzenia wg. recenzenta właśnie nimi są) to podrozdział 3.3 powinien być rozwinięciem 3.2.

Rozdział 4. **Obszar i obiekt badań** - autor dysertacji analizuje oficjalne dane GUS na temat lesistości i rozważa definicję lasów przyjęta w Polsce na tle innych międzynarodowych standardów prowadzących do różnych wyników ustalania procentu lesistości. Niewątpliwie Autor dotyka bardzo złożonego problemu, który jest bardzo różnie interpretowany w zależności od profilu samego badawcza (leśnik, geograf, prawnik itp.), stosowanych danych, profilu badań i celu badań w tym tworzenia baz danych referencyjnych jak choćby CORINE LC (EEA). W tym rozdziale autor pisze o dokładności geometrycznej obrazów satelitarnych stosowanych w opracowaniu CLC 2000 wskazując na wartość 25m m.in. dla sensora RapidEye (GSD 5.0m). Myślę, iż zdanie to wymaga korekty lub styl zdania nie jest właściwy. Dokładność geometryczna obrazu satelitarnego to zupełnie inna cecha niż jego rozdzielczość terenowa, a i ta została podana niewłaściwie. Doktorant wskazuje na ważną w dalszym opracowaniu warstwę tematyczną HRL opisując ją jako „warstwę leśną” spełniająca warunki: minimalnej powierzchni 0.5ha oraz zwarcia koron 10% (dość problematyczne np. w obszarach z rozproszoną wtórną sukcesją o charakterze leśnym). Doktorant, wizualizuje klasy CORNE LC 2012 (na Ryc. 6) wskazując, iż jest to opracowanie własne. Sądzę jednak, iż miał na myśli własną kompozycję mapową czyli wyselekcjonowanie klas CLC, które definiują „las” i zaprezentowanie ich w postaci mapy. Dalej omawiane są inne serwisy i produkty globalnego kartowania lasów, czy warstwy drzew - takie jak MODIS VCF czy LTC. Powyższe informacje zdaniem recenzenta mogłyby się znajdować w rozdziale Wprowadzenie przed zdefiniowaniem celu badań - dając dobre podstawy teoretyczne przeglądu stanu prac nad kartowaniem lasów, a nie w rozdziale teren badań bo go wprost nie dotyczą (nie wpływają na jego zakres).

W **podrozdziale 4.1 Obszar badań** – autor dalej zajmuje się aspektami metodycznymi powstawania bazy CLC w różnych jej wersjach przytaczając historyczne uwarunkowania, które mogłyby być też zaprezentowane we **Wprowadzeniu** przy omawianiu

stanu baz referencyjnych. Co ciekawe, autor wskazuje na sposób aktualizowania baz danych poprzez wizualną interpretację obrazów teledetekcyjnych o coraz wyższych rozdzielczościach terenowych (np. RapidEye) w kolejnych edycjach CLC, a nie, jakby można oczekiwać klasyfikację obrazu. Oczywiście, nie jest to żaden zarzut do Autora - a jedynie ciekawostka w aspekcie zarządzania tak rozległymi bazami danych i ich aktualizacjami i przyjęta metodyka w ostatnich 25 latach.

Autor przyjął zdaniem recenzenta, dość ryzykowne uproszczenie polegające na połączeniu ze sobą dwóch klas poziomu 3 CLC dotyczących lasów, tj. klasy 3.1.1. (lasy liściaste) z 3.1.3 (lasy mieszane). Ta ostatnia klasa (lasów mieszanych) jest niewątpliwie najbardziej złożonym zagadnieniem w aspekcie jej wydzielenia i rozumienia. Należałoby się cofnąć wstecz do okresu budowania CLC 1990 i wykorzystywania obrazów Landsat 5 TM do jej tworzenia, ale w głównej mierze, ich interpretacji wspieranej treścią istniejących często nieaktualnych map topograficznych, jakie tworzono wtedy na podstawie fotointerpretacji zdjęć lotniczych (np. czarno-białych). Określenie drzewostanu jako lasu mieszanego, wynikało kiedyś z przyjętych instrukcji zarządzania lasu i opierało się na udziale zasobności (% masy drewna) gatunku głównego w stosunku do innych gatunków współpanujących w wydzieleniu. Przyjmowane przez bazy CLC wartości udziału gatunków iglastych do liściastych (zakres 25÷75% i to w obu kierunkach) jest dość uproszczone i w dobie wysokorozdzielczych zobrażeń satelitarnych powinno prowadzić do poprawienia geometrii i jakości tematycznej tej klasy. Jak podkreślam nie jest to zarzut wprost do Doktoranta, ale zwrócenie uwagi na szczegóły i zawłości tego problemu.

Doktorant oparł się na wieloletnim doświadczeniu pracowników IGiK w Warszawie i zachowania jak pisze - ciągłości poprawnej interpretacji form pokrycia terenu. Nie poddał jednak warstwy 3.1.3. (CLC 2012) choćby częściowej weryfikacji w oparciu np. o interpretację ortofotomap lotniczych czy bazy danych BDL, co podkreśliłoby niewątpliwie jego dążenie do osiągnięcia jeszcze lepszych sprawdzalnych wyników.

Powyzsze rozważania recenzenta nie stanowią poważnego zarzutu metodycznego czy podważenia prac IGiK ale jedynie zwraca on uwagę Doktorantowi, iż na osiągnięte przez niego wyniki składa się wiele zaszłości historycznych i niepewności danych zasilających jego bazy referencyjne.

Podrozdział 4.2. **Obiekt badań** rozpoczyna się od charakterystyki warunków klimatycznych dla strefy klimatu umiarkowanego. Autor wymienia gatunki drzew liściastych, kiedy tak naprawdę podaje jedynie taksonomicznie rodzaj, pisząc „głównie buków” (na

marginesie w Polsce występuje jeden gatunek buka zwyczajnego *Fagus sylvatica* L. czy graba pospolitego *Carpinus betulus* L.

Podobnie w sytuacji gatunków iglastych doktorant pisząc o gatunkach wymienia świerki czy sosny kiedy w zasadzie to rodzaj a nie gatunki.

Autor przyjmuje dane CLC 2012 dla zasięgów lasów liściastych ale powołuje się na roczniki GUS z 2017, a nie z 2012, co byłoby wg recenzenta było bardziej właściwe metodycznie. Myślę również, iż z korzyścią dla pacy byłoby wykonanie przez Doktoranta własnych zdjęć kilku gatunków drzew lub lepiej - drzewostanów liściastych, a nie korzystanie z atlasu drzew wydanego poza granicami Polski, który nie gwarantuje swą treścią zmienności morfologicznej (ekotypów) drzew dla badanego obszaru. Podsumowując, w tym podrozdziale, brakuje recenzentowi mapy lasów liściastych, których badania dotyczą szczególnie na tle lasów iglastych i mieszanych. Byłoby to odpowiednie miejsce dla takiej kompozycji mapowej wzmocnionej liniami granicznymi Krain przyrodniczo-leśnych czy państwa.

W rozdziale 5. **Materiały i metody badawcze** autor dysertacji wskazuje na produkt na jakim bazował w swej pracy, czyli S10 TOC będący składową 10-dniowego okresu (dekady) przy wykorzystaniu bezchmurnych zobrazowań (metoda MVC). Doktorant prezentuje schemat postępowania metodycznego, w którym za obszary lasów liściastych przyjmuje te, które dla bazy CLC 2012 spełniają jego założenie udziału powyżej 50% w powierzchni oczka rastra (siatka 1kmx1km). Niejasnym dla recenzenta jest etap selekcji pikseli z CLC 2012. Oryginalnym źródłem danych CLC 2012 są bazy danych geometrycznych w postaci wektorowej (Esri Shapefile) a nie rastrowej (1km rozdzielczości piksele). Jak mogę się jedynie domyślać, nastąpiła na którymś etapie konwersja zbiorów warstw wektorowych do rastrowych i zastosowano bliżej nieokreślony algorytm generalizacyjny. Autor przyjął w swoim założeniu wartość progową na poziomie 50%, a nie np. 75%, czego w zasadzie nie tłumaczy ani też nie testuje na wybranym przykładzie. Wartość większa lub równa 50% może powodować, iż dokładnie połowa obszaru piksela, może być np. polem kukurydzy, a druga jego połowa - lasem liściastym. Niewątpliwie fakt taki komplikuje szczegółowe analizy i jest bardzo złożonym zagadnieniem wykonywania analiz na poziomie regionalnym, przy nieokreślonym poziomie ufności do danych referencyjnych. Taką drogą autor generuje „maskę lasów”, która jak pisze stworzył pierwotnie i przetestował we wcześniejszych swych pracach (Bartold 2016b, 2018) w oparciu o przebiegi wskaźnika wegetacji – ale nie pisze w tym miejscu jakich ani nie prezentuje

graficznie tej „maski”, co podniosłoby wartość doktoratu. Doktorant opisuje szczegółowo i przedstawia schemat (Ryc.11) weryfikacji wyników badań na podstawie danych klimatycznych z serwisu Tutiempo. Weryfikacja prowadzona była na 3 etapach, tj. w I etapie - analizowano wpływ warunków atmosferycznych na terminy początku i końca okresu wegetacyjnego wyznaczonego w oparciu o sensory VEGETATION. W drugim etapie porównywano terminy z etapu I z datami startu i końca okresu meteorologicznego ( $> 5^{\circ}\text{C}$ ). W etapie III poszukiwano korelacji parametrów meteorologicznych z fenologią wybranych gatunków drzew liściastych na początku okresu wegetacji. Weryfikacja wyników odbywała się dla poszczególnych Krain przyrodniczo-leśnych oraz szczegółowo dla wybranych obszarów chronionych w Krainie Mazursko-Podlaskiej. Zdaniem recenzenta, trochę szkoda, iż autor nie pokusił się na weryfikację szczegółową dla wybranych gatunków drzew w każdej Krainie zamiast, wielu obiektów, w jednej dość specyficznej klimatycznie Krainie Mazursko-Podlaskiej.

W przypadku danych meteorologicznych z serwisu Tutiempo, recenzent nie znajduje w tym rozdziale szczegółów przyjętej metody interpolacji oraz choćby liczby udostępnianych przez IMGW do tego serwisu stacji meteorologicznych dla każdej interpretowanej Krainy przyrodniczo-leśnej lub poza jej granicami (do poprawy procesu interpolacji danych).

Doktorant w kolejnych podrozdziałach raz jeszcze, ale tym razem bardziej szczegółowo opisuje produkt S10 TOC oraz towarzyszące mu metadane (SM). Autor skorzystał z produktów oznaczonych jako C3 uwzględniających dane zharmonizowane dla SPOT i PROBA. Łącznie dla analizowanego okresu autor pozyskał bardzo duży zakres informacji bo aż 648 kompozycji dekadowych wskaźnika NDVI, co odpowiada 36-ciu zestawom dla każdego z 18 lat obserwacji. Do przetwarzania danych, w tym do eliminacji obszarów chmur na scenach satelitarnych autor wykorzystał język IDL.

W kolejnych podrozdziałach znów powtarzane są informacje, które już zostały zaprezentowane w przypadku CLC 2012. Poza tym Autor, zamiast skupić się nad wyodrębnieniem obszarów leśnych, przytacza rozważania dotyczące obszarów rolniczych, które ewentualnie powinny znaleźć się we Wprowadzeniu do tematyki badawczej.

Doktorant opisuje proces tworzenia zestawu danych wejściowych, które nazwał wcześniej „maską leśną”. Zamiennie nazywa te obszary „pikselami leśnymi” co jest trochę zbyt ogólne, bo zaledwie udział 50%, w przekonaniu recenzenta nie gwarantuje pojęcia homogenicznej klasy LAS. Dość lakonicznie, wszelkie działania w zakresie narzędzi GIS, doktorant opisuje hasłowo: „ (...) przecięto maskę pikseli” i „ (...) odczytano informację



o powierzchni i wieku dominujących drzew”. Doktorant wybrał test statystyczny Manna-Whitneya dla testowania hipotezy o istotności różnic w określaniu wartości NDVI dla 2 zestawów („masek”) powyżej i poniżej 50% udziału. Recenzent nie znajduje informacji jakiego typu operacje z zakresu analiz przestrzennych GIS i w jakim oprogramowaniu zostały wykorzystane i czy faktycznie chodzi o odczyt z ekranu czy automatyczną ekstrakcję z bazy danych. Nie bardzo też, recenzent rozumie, jak informacja o powierzchni z LMN mogła stanowić kryterium zaliczenia piksela do klasy lasów liściastych, skoro dotyczy wektora poligonu reprezentowanego w LMN. Bardzo chętnie recenzent usłyszałby od Doktoranta te kroki metodyczne, jako uzupełnienie podczas publicznej obrony doktoranta.

Doktorant dalej opisuje warsztat badawczy (**podrozdział 5.3.**) TIMESAT oraz procedurę wygładzania szeregów czasowych dla wskaźnika NDVI, wagowania oraz określania jego amplitudy rocznej i wielkości progu odcięcia (początek i koniec okresu wegetacji) – jak sam pisze, jako dość subiektywnego kryterium dobieranego przez operatora. Doktorant opierając się na wynikach licznych badań innych autorów ustalił wielkość progu indeksu NDVI na poziomie 0,3 dla początku i końca okresu fenologicznego drzew liściastych.

W **podrozdziale 5.4.** recenzent odnalazł jednak opis metod interpolacyjnych i wykorzystanego oprogramowania GIS do sporządzenia map rastrowych rozkładu temperatur oraz opadów, a także rozmieszczenie niewielkiej stosunkowo liczby stacji synoptycznych IMGW prezentowanych w serwisie Tutiempo. Opis wykorzystania tego serwisu umieszczony w metodyce powinien znaleźć się raczej we Wprowadzeniu niż w samej metodyce.

Doktorant przyjął w swej pracy kolejną aktualizację podziału Polski na Krainy przyrodniczo-leśne wykonaną w roku 2010 przez zespół z SGGW na zlecenie GDLP Lasy Państwowe. Trochę niezrozumiałym dla recenzenta jest stwierdzenie autora piszącego o generalizacji granic Krain do skali 1:20 000 000 i w związku z tym prosiłbym o wyjaśnienia co doktorant miał na myśli i jaki algorytm do generalizacji warstw wektorowych został zastosowany.

W **podrozdziale 5.5.** doktorant opisuje testy statystyczne jakie stosował dla weryfikacji hipotez na temat: jakości maski drzewostanów liściastych, zmienności uśrednionych wartości NDVI w wieloleciu 1999-2016, istotności tendencji zmian parametrów opisujących okres wegetacji. Oprogramowanie XLSTAT posłużyło także do wygenerowania statystyk maksymalnych temperatur i sum opadów uśrednionych w wieloleciu 1999-2016 dla 8 poszczególnych Krain. Poszukiwano też korelacji pomiędzy okresem wegetacji

a warunkami temperaturowymi i opadowymi w wariantach: na 3 miesiące przed rozpoczęciem wegetacji; na miesiąc przed oraz dla 10 dni przed rozpoczęciem okresu wegetacyjnego. Podobne analizy wykonano dla końca okresu wegetacji. Autor podjął się także zbudowania modelu regresyjnego opisującego wpływ np. maksymalnej temperatury powietrza na zmianę rozpoczęcia okresu wegetacyjnego.

W **rozdziale 6 Wyniki badań**, doktorant opisuje statystyki występowania poszczególnych gatunków drzew (udział powierzchniowy oraz struktura wiekowa) w analizowanych Krainach przyrodniczo-leśnych w Polsce. Raz jeszcze, autor niepotrzebnie przytacza w tym miejscu, nie do końca jasną dla recenzenta, metodykę przycinania maski lasów (raster?) z Leśną Mapą Numeryczną oraz doczytaniem powierzchni i wieku. Jako ekspert z zakresu leśnictwa nie do końca rozumiem warsztat doktoranta i sposoby wagowania wieku czy udziału w pikselach 1km, wyłącznie na podstawie wektora LMN oraz bazy atrybutowej SILP. Recenzent zastanawia się dalej, czy analizowany wiek drzewostanów był przez doktoranta dalej rozpatrywany. Jeśli tak to pod jakim kątem i czy miał on znaczenie w obserwacjach charakterystyk faz fenologicznych oraz wskaźnika NDVI. Autor pisze szczegółowo o zmienności wieku drzewostanów w poszczególnych Krainach, nie rozróżnia jednak między sobą gatunków np. dębów ale również olszy (te mają różną fenologię i różnią się spektralnie np. w okresie jesiennym). Autor w swoich rozważaniach stwierdza, iż ”różnicowanie wiekowe drzewostanów nie uwidacznia się w zmianach przebiegu wskaźnika wegetacji lasów”. Zasadnicze pytanie recenzenta brzmi – na jakiej podstawie wyciągnięto ten wniosek. Zwracam uwagę Autorowi, iż bardzo często młode uprawy, młodniki czy tyczkowiny zbudowane buka zwyczajnego czy dębów (szypułkowy i bezszypułkowy) charakteryzują się utrzymywaniem przez okres spoczynkowy dużej ilości uschniętych liści w koronie drzewek. Niewątpliwie ma to wpływ na kształtowanie wskaźnika NDVI niż w przypadku koron pozbawionych aparatu asymilacyjnego (odbicie spektralne wyłącznie od gałęzi i konarów, czy też runa i gleby).

Autor w swoich rozmyślaniach nad wynikami analizuje udział powierzchniowy 1km pikseli lasów liściastych (udział lasu >50%) w zasięgu Krainy w stosunku do informacji z CLC 2012. Szczegółowo, autor pisze o „stratach informacji” czego recenzent do końca nie bardzo rozumie. Duże rozproszenie kompleksów leśnych i ich mozaikowatość w ujęciu gatunkowym powoduje taką a nie inną sytuację, więc nie można mówić o utracie informacji a jedynie o ilościowym ograniczeniu powierzchni referencyjnej 1kmx1km. Z jednej strony autor tłumaczy, że zabieg progowania powyżej 50% miał spowodować, iż jakość referencji

wzrośnie, ale nie pisze nic np. o obszarach użytkowanych (zręby, szkółki, tzw. poletka ogryzowe, drogi i inne) w lasach. Oczywiście, w Polsce w PGL LP nie stosuje się w drzewostanach liściastych zrębów zupełnych a zwykle w lasach liściastych są to stosunkowo niewielkie obszary ale okresowo prowadzące do zmian wartości wskaźnika NDVI na kilka do kilkunastu sezonów do momentu zwarcia się drzewek na uprawie i ustabilizowaniu wskaźnika NDVI. W rozumieniu prawa obszary zrębów (użytkowania końcowego) są dalej lasem jednak zmieniają odpowiedź spektralną nawet jeśli gniazda te mają niewielkie powierzchnie.

Autor dysertacji bardzo wnikliwie analizuje różnice średnich wartości NDVI dla poszczególnych dekad dla maski lasu (powyżej i poniżej 50% udziału lasu liściastego wewnątrz analizowanego piksela). Przyjmuje jednocześnie poziom błąd  $\pm 0,05$  jako wpływ obszarów rolniczych lub innych niż las na analizy wewnątrz maski lasu. Wskazuje jakie czynniki mogły decydować o pewnych wykrytych różnicach w poszczególnych Krainach przyrodniczo-leśnych. Wykazał ponad wszelką wątpliwość testami statystycznymi, iż dla Krainy Bałtyckiej i Mazursko-Podlaskiej różnice były istotne. Autor stwierdza, że na podstawie wyników testu U Manna-Whitney'a ma podstawy do przyjęcia „niniejszej” (jak rozumiem > 50% udziału) „maski leśnej” do dalszych analiz.

W **rozdziale 6.2 dysertacji**, jej autor przedstawia uzyskane wyniki dla okresu wegetacji określonego przy wykorzystaniu oprogramowania TIMESAT oraz wartości progowej 0,30 dla wskaźnika NDVI. Średnia wartość amplitudy dla analizowanego przez niego wielolecia 1999-2016 wyniosła 0,60, przy maksimum wskaźnika notowanego w roku 2014. Autor prezentuje dla tego roku wyniki dla początku okresu wegetacji, typowanego na trzecią dekadę lutego. Oznacza to że po 20.02.2014 obserwowane były wartości NDVI powyżej 0,30 dla drzewostanów liściastych. Wskazywałoby to na ich aktywność fotosyntetyczną i wykształcony już aparat asymilacyjny drzew w końcu lutego co wydaje się jednak recenzentowi być mało prawdopodobne. Przy całym szacunku do wysiłku badawczego Autora, nie podjął się on analizy wskazania jakie lasotwórcze gatunki drzew liściastych dominują w pikselach 1kmx1km, o powyżej wartości progowej NDVI > 0,3. Recenzent podejrzewa, iż mógł zaistnieć w tym wypadku efekt rejestracji tzw. aspektu wiosennego w runie drzewostanów liściastych oraz pojawiły się liście na gatunkach podszytowych (drugiego piętra), które dały właśnie taką odpowiedź spektralną w zakresie Red i NIR. Recenzent nie dysponuje cyfrową warstwą wyników aby sprawdzić jakie gatunki drzew mogłyby wystąpić w obszarach o tak wcześnie wskazanym początku okresu ulistnienia

ale chciałby, by doktorant zgłębił te szczegóły przed finalną obroną i mógł je zaprezentować jako uzupełnienie.

Autor podpierając się kompozycjami mapowymi nr 28, 29 oraz 30 - stawia hipotezę, iż gatunek drzewa (szczególnie buk i dęby: szypułkowy i bezszypułkowy) są odpowiedzialne za wydłużenie okresu wegetacji w stosunku do podawanych przez agrometeorologów wartości. Niewątpliwie te dwa gatunki rosną w miejscach swej niszy ekologicznej czyli zaadaptowane są do lokalnego klimatu i warunków glebowo-siedliskowych, ale wg recenzenta ich obecność w danym miejscu traktowana powinna być właśnie jako spełnienie ich wymagań ekologicznych - a nie jako wpływ wydłużanie okresu wegetacji. Autor pisze bowiem: „Lasy Krainy Karpackiej dominowane są przez buki co by wyjaśniało trwanie dłużej okresu wegetacyjnego”. Buk zwyczajny, jest w stanie lepiej wykorzystać dłużej trwający okres wegetacji, gdyż jest gatunkiem klimatu atlantyckiego, ale nie wydaje się aby gatunek ten wcześniej rozpoczynał np. listnienie - choć autor stara się tego dowieźć obserwowaną wartością wskaźnika NDVI. Myślę, że intencje autora zmieniła nieco niepoprawna stylistyka zdania.

Kolejne pytanie jakie chciałby zadać recenzent podczas obrony to, czy: istnieją jakieś inne możliwości sprawdzenia (np. na podstawie zdjęć lotniczych lub np. kamer internetowych) – jak kształtowała się faza fenologiczna roślinności w drzewostanach, dla których autor podaje tak bardzo wczesne oraz bardzo późne wartości wskaźnika NDVI  $> 0,3$ . Autor wskazuje, iż takie naziemne dane referencyjne są zbierane przez IMGW ale nie ma ich ciągłości. Gdyby znaleźć inne źródła danych (jak wspomniane serwisy z archiwum kamer internetowych – to byłby to wspaniały materiał potwierdzający uzyskane wartości dla NDVI, choćby pogładowo.

Doktorant na podstawie obserwacji z wielolecia wskazuje dla poszczególnych Krain przyrodniczo-leśnych, szczegółowo okresy początku i końca okresu wegetacyjnego i jego zróżnicowanie geograficzne. Ze względu na różny udział powierzchniowy głównych gatunków drzew oraz pomijając układ warunków klimatycznych poprzedniego sezonu wegetacji jak i bezpośrednio następujących przed początkiem następnego sezonu – wydaje się, że ciekawym podejściem byłoby znalezienie jednego gatunku drzewa liściastego występującego w każdej z analizowanych Krain i poddanie szczegółowej analizie w terminach określonych przez TIMESAT dla pikseli 1km, w których dominuje. Może być po prostu tak, iż w pikselach, w których udział obszarów rolniczych mógł wynosić np. 49% łagodna jesień spowodowała, iż zboża ozime dobrze się rozwinęły, przez co wskaźnik NDVI

dla nich był relatywnie wysoki (0,3) a po ich dobrym przezimowaniu w trzeciej dekadzie lutego wykazywały także duże odbicie w kanale NIR. Oczywiście to tylko sugestia recenzenta, który szuka uzasadnienia tak zaskakujących wyników przytoczonych przez doktoranta w aspekcie wczesnego rozpoczynania listnienia (3-cia dekada lutego przez gatunki liściaste).

Na str. 92, autor słusznie zauważa, iż wskazane byłoby przeprowadzenie dodatkowych badań z wykorzystaniem naziemnych obserwacji meteorologicznych do weryfikacji otrzymanych wyników. Koniec okresu wegetacji w miesiącu grudniu nastąpiło aż 9 razy w badaniach autora, co stanowiło 7% obserwacji w analizowanym wieloleciu. Ten fakt jest trudny do wytłumaczenia dla recenzenta, iż wartość NDVI dla drzewostanu liściastego na początku grudnia może wykazywać aktywność fotosyntenetyczną. Nie dysponując wynikami w postaci cyfrowej nie jestem w stanie zweryfikować czy nie chodzi np. o drzewostany dwupiętrowe w Krainie Karpackiej, w przypadku których, drugie piętro lasu tworzone jest przez gatunki iglaste (jodłę pospolitą lub świerka pospolitego) a przy utracie liści przez buka z piętra pierwszego, wykazują one na tyle silne wartości odbicia NIR, że wartości NDVI > 0,3. Wymagałoby to terenowej weryfikacji lub przynajmniej analizy baz danych SILP poprzez BDN i sprawdzenie opisów taksacyjnych. Inna hipoteza wymagająca weryfikacji wskaźnika NDVI dotyczy przetrzymywania liści w koronie przez młode buki i dęby (w Krainie Karpackiej w zasadzie wyłącznie buki miejscach zaprezentowanych).

Przeprowadzone przez Autora testy statystyczne, nie dały podstaw do stwierdzenia trendu w przyspieszeniu początku rozpoczęcia czy opóźnienia ukończenia okresu wegetacyjnego drzewostanów liściastych. Analiza wartości maksymalnych wskaźnika NDVI w poszczególnych latach wykazała natomiast wyraźną tendencję wzrostową, co potwierdził autor testem Manna-Kendalla, szczególnie dla Krainy Karpackiej ( $\tau=0,82$ ). Autor nie tłumaczy jednak przyczyn wzrostu wartości maksymalnych NDVI, ani w tym rozdziale ani we wnioskach, co pozostawia trochę niedosytu. Być może obawia Autor postawienia zbyt odważnej hipotezy nieopartej dowodem statystycznym, co recenzent może zrozumieć.

W **podrozdziale 6.3** doktorant dokonuje analizy wpływu warunków atmosferycznych notowanych przez stacje naziemne na zmiany okresu wegetacyjnego. Autor na podstawie serwisu Tuitempo dokonuje analizy statystycznej określając odchylenia standardowe w poszczególnych dekadach dla maksymalnej temperatury powietrza oraz opadów (średnie wynoszą odpowiednio: 3,03 °C oraz 12,56 mm). Doktorant dokonał bardzo ciekawej i ważnej analizy, na ile maksymalna temperatura powietrza okresu poprzedzającego początek okresu

wegetacji może istotnie wpływać na jego rozpoczęcie, tzn. czy może go przyspieszyć. W przypadku temperatury maksymalnej, autor wykazał także istotną zależność w przypadku Krainy Karpackiej (na 3 miesiące, 1 miesiąc oraz 10 dni) oraz Bałtyckiej i Mazursko-Podlaskiej (1 miesiąc oraz 10 dni). W przypadku opadów zależność wykazano jedynie dla Krainy Śląskiej (na 3 miesiące i na 1 miesiąc przed rozpoczęciem). W przypadku analiz końca okresu wegetacyjnego, Autorowi na podstawie obserwacji NDVI, nie udało się wykazać istotności wpływu temperatury maksymalnej i opadów atmosferycznych przed okresem zakończenia okresu wegetacji na datę jego zakończenia. Autor przedstawił też model regresji liniowej dla skrajnych terminów początku okresu wegetacji lasów liściastych Krainy Mazursko-Podlaskiej zbudowany na podstawie średnich miesięcznych maksymalnych temperatur powietrza i sum opadów atmosferycznych poprzedzających początek okresu wegetacji.

**Rozdział 6.4.** dotyczący „Zróżnicowania drzew liściastych na terminy początku okresu wegetacyjnego” w zasadzie można by chyba pominąć, gdyż poza zmianą szczegółowości danych (analizy w Krainie II) nie wnosi on istotnych nowych informacji do dysertacji. Autor dość niejasno pisze, że „odczytał z LMN” gatunki dominujące oraz, że „rozpoznał dęby”. Te mocno nieprecyzyjne stwierdzenia w tym rozdziale trochę kolidują z pozostałym świetnym warsztatem badawczym Doktoranta i wprowadzają niepotrzebne zawirowanie. Dolina Biebrzy zaznaczona jest jako duży obszar chroniony, przy czym ekosystemów leśnych jest tam stosunkowo niewiele a rycina 46 sugeruje trochę inną sytuację. Podobnie autor przedstawia kompleks leśny Puszczy Białowieskiej i Lasy Naturalne Puszczy Białowieskiej w zasadzie jako zdominowany przez olsze (nie pisze jednak, który gatunek olszy a mamy w Polsce aż trzy) przy bardzo złożonych ekosystemach łąkowych, w tym obszarze. Ten sam fakt dotyczy Puszczy Augustowskiej, dla której autor prezentuje wyższe korelacje temperatur z początkiem okresu wegetacji tłumacząc to zdominowaniem tego obszaru przez olszę (ale którą?). Szkoda, iż przy posiadanym świetnym warsztacie programistycznym, Doktorant nie podjął się próby wykorzystania na jakimś niewielkim obszarze, obrazów satelitarnych Sentinel-2 (ESA) lub o jeszcze większej rozdzielczości terenowej do walidacji maski lasu i osiągniętych wyników. Choć zadanie to nie byłoby aż tak łatwe, to pomogłoby zapewne w eliminacji ryzyka występowania błędów czy interpretacji wyników.

W **rozdziale 6.5.** doktorant dokonuje bardzo istotnego zestawienia początku i zakończenia okresu wegetacyjnego określanego na podstawie NDVI oraz oprogramowania TIMESAT z terminami określanymi na podstawie obserwacji meteorologicznych (Tutiempo).

Ryc. 48 wskazuje dość wysoką zgodność obu metod poza Krainą Wielkopolsko-Pomorską oraz Śląską dla początku okresu wegetacji, a rycina 49 dla Mazursko-Podlaskiej i Śląskiej w przypadku końca okresu wegetacji. Nie do końca dla recenzenta jasna jest rycina 48, gdyż poziome słupki sugerują, iż okresy wegetacji rozpoczynają się od dekady „0” i trwają aż do dekady „10” ale może jest to kwestia interpretacji wykresu?

Rozdział 7 – **Analiza i dyskusja wyników**. W tym miejscu raz jeszcze Autor przytacza wyniki własne oraz innych badaczy wykorzystujących oprogramowanie TIMESAT do badań środowiskowych i podkreśla zalety tego narzędzia. Porównuje otrzymane przez siebie wyniki do innych rozwiązań korzystających z danych z misji VEGETATION oraz innych systemów np. systemy ForWarn, a także podkreśla przydatność bazy CLC w badaniach środowisk innych ekosystemów. Doktorant z sukcesem porównuje otrzymane wyniki początku, końca oraz długości trwania okresu wegetacyjnego dla obszaru Beskidów z wynikami innych autorów opartymi na obserwacjach meteorologicznych. Autor podkreśla, iż otrzymane przez niego wyniki są porównywalne do wyników innych autorów oraz danych meteorologicznych, przy czym stosowanie metody teledetekcyjnej daje znacznie szersze możliwości analiz przestrzennych dla rozległych obszarów. Dane prezentowane na podstawie obserwacji fenologicznych na stacjach IMGW, nie są w zasadzie możliwe do porównania choć zbieżne z wynikami autora dysertacji.

Ostatni rozdział 8. **Podsumowanie i wnioski**, który powinien być zwińczeniem pracy w opinii recenzenta wykazuje w stosunku do całej bardzo dobrej pracy stosunkowo największą słabość, ze względu na proste niezrozumienie przez Doktoranta, na czym polega definiowanie właściwego wniosku na podstawie wyników jakie otrzymał w badaniach.

W większości z 17 zaprezentowanych wniosków, mamy do czynienia z przepisaniem na nowo wynikiem z rozdziału Wyniki, co tylko w zasadzie utrudnia lekturę opracowania i nie wnosi niczego nowego. Autor dokonał bardzo szerokiej analizy i spędził mnóstwo czasu na bardzo wnikliwe i szczegółowe opracowanie tej rozprawy, ale niestety nie wyciągnął analitycznych wniosków z badań. Bardzo interesującym byłoby przedstawienie wnioskowania, jak np. przekłada się zwiększenie okresu wegetacji na przyrost biomasy w lasach liściastych albo jakie zagrożenia mogą wynikać z niedostosowania się drzew do nagłego załamania pogody (np. zbyt długie utrzymywanie liści prowadzi może do śniegołomów w sytuacji opadów śniegu późną jesienią). Wnioskowanie na podstawie tak szerokiej palety wyników jakie autor krok po kroku prezentuje w dysertacji byłoby niezmiernie interesujące zarówno dla geografów zajmujących się zmianami klas LULC jak

i leśników czy ekologów. Na tle zmieniających się elementów klimatu obserwacje zmian początku i zakończenia okresu wegetacji a tym samym długości mogą doprowadzić do zmian w składzie gatunkowym w polskich lasach, na co niestety musimy być przygotowani.

Autor we wniosku 14 pisze np., iż dziesięciodniowa dokładność (jak rozumie recenzent chodzi o produkt S10 TOC) jest wystarczająca do porównania wyników obserwacji fenologicznych. To raczej stwierdzenie, niż wniosek i nie bardzo można go udowodnić w sytuacji, gdy zdarza się okres z kilkunastodniowym pełnym zachmurzeniem późną jesienią. Doktorant podkreśla zalety programu TIMESAT uzasadniając nawet podjęcie dysertacji brakiem wcześniejszych walidacji w Polsce tego narzędzia. W rozumieniu recenzenta, jednak to nie samo świetne narzędzie TIMESAT - a problem badawczy jest celem doktoratu. Tym celem, choć może zbyt mało wyeksponowanym są niewątpliwie reakcje fizjologiczne drzew na zachodzące na naszych oczach zmiany klimatu. Jednymi z reakcji może być przyspieszanie lub opóźnianie momentu zakończenia wegetacji, co w dalszej perspektywie może prowadzić do mało przewidywanych skutków (np. zmiana pokroju koron drzew) lub wycofania się z naturalnego zasięgu występowania. Problem ten obserwujemy obecnie dla takich gatunków jak świerk pospolity a nawet sosna zwyczajna, której nigdy nie traktowaliśmy jako gatunku wrażliwego na zmiany klimatu, jednak w całym kompleksie uwarunkowań ekosystemowych i pojawiania się gradacji szkodliwych owadów, zaczyna on być gatunkiem zagrożonym.

Dopiero na samym końcu rozdziału Autor dysertacji wyciąga bardzo zasadny wniosek o ważnej roli teledetekcji, jako alternatywie i uzupełnieniu dla metod opartych na naziemnych obserwacjach meteorologicznych i fenologicznych szczególnie w aspekcie obserwacji rozległych obszarów.

### **Ogólne uwagi recenzenta**

Nie budzi jakichkolwiek wątpliwości recenzenta, iż tematyka dysertacji podjęta przez mgr Macieja Bartolda jest niezmiernie aktualna i ważna w aspekcie badań nad wpływem przemian klimatu na środowisko leśne z wykorzystaniem produktów przetwarzania zobrażeń teledetekcyjnych z misji VEGETATION. W dobie pozyskiwania scen satelitarnych pokrywających miliony km<sup>2</sup> lądów każdego dnia, stopień wykorzystania informacji zależy wyłącznie od możliwości automatyzacji procesu analizy obrazu i jego analitycznej interpretacji (*ang.* machine learning). Przy tak gigantycznej ilości gromadzonych zbiorów, często rozproszonych na różnych macierzach serwerowych, to właśnie automatyka ich przetwarzania zdalnego (np. Google Earth Engine) bez potrzeby ściągania obrazów,



a wyłącznie produktów ich przetworzeń - to droga współczesnej teledetekcji. Wyniki przetworzeń obrazów satelitarnych powinny automatycznie zasilać i aktualizować gromadzone w bazach CLC informacje wektorowe i kontekstowe, w tym na temat detekcji gatunków drzew, ich stanu fenologicznego czy kondycji zdrowotnej. Ta misja teledetekcji jest po części przesłaniem recenzowanej Dysertacji, która wskazuje na kierunek jaki szybko należy obrać w nowoczesnym leśnictwie korzystającym z innowacyjnych technologii. Wyniki badań Autora w moim przekonaniu mogą być świetną podstawą do prac nad rewizją zasięgu poszczególnych Krain i mezoregionów, których granice do niedawna opierano na przebiegu naturalnego zasięgu drzew lasotwórczych. Okazuje się, iż granice te mogą obecnie się zmieniać razem z zmianami klimatycznymi jakie obserwujemy od momentu kiedy rozpoczęto obserwacje meteorologiczne. Jak się okazuje lipiec 2019 był najcieplejszym lipcem od samego początku obserwacji temperatury. Można przypuszczać z dużym prawdopodobieństwem, iż zmiany klimatyczne spowodują przesunięcie okresów fenologicznych a tym samym mogą doprowadzić do licznych fluktuacji w ekosystemie leśnym, których przewidzieć jeszcze nie potrafimy.

Autor dysertacji posiada niewątpliwie bardzo mocny ugruntowany warsztat programistyczny, który pozwolił mu na wykorzystanie produktów VEGETATION oraz danych meteorologicznych Tutiempo a także na szerokie analizy statystyczne oraz przestrzenne w oprogramowaniu GIS.

### **Uwagi szczegółowe recenzenta**

Pomimo ogromu wysiłku poświęconego na przygotowanie rozprawy, którą należy pochwalić i docenić, Doktorant nie ustrzegł się błędów, które jednak nie są w stanie przesłonić całkowitej wartości przedłożonej dysertacji. Wymieniam je, nie przez złośliwość ale po to, by pomóc Doktorantowi zrozumieć poprawną strukturę Dysertacji, konstruowanie odpowiedniego stylu zdań, używania fachowych terminów oraz ułatwić mu recenzję publikacji jej fragmentów, bo jest ona z pewnością tego warta.

Pierwszą dość rażąca sprawą jest stosowanie kalki językowej i nadużywanie wyrazu „wegetacja”. Autor stosuje go jak wielu innych polskich naukowców, w kontekście indeksu NDVI, który powinien być tłumaczony na język polski jako „znormalizowany różnicowy wskaźnik roślinności”.

Recenzent jak wspomniał na wstępie, ma małe zastrzeżenia do poprawności zdefiniowania tytułu Dysertacji, który wg niego powinien brzmieć raczej: *„Zastosowanie wieloletnich obserwacji satelitarnych VEGETATION w monitorowaniu okresu wegetacji lasów liściastych*

w Polsce w latach 1999-2016". Bardziej precyzyjnie oddawałby taki tytuł faktyczny zestaw danych i typ drzewostanów jakie obserwował Doktorant dla okresu 17 lat z wykorzystaniem danych VEGETATION. Może przy publikacji fragmentów doktoratu warto zastanowić się nad tą sugestią recenzenta.

W pracy padają dość często takie określenia jak: „wskaźnik wegetacji”, który nie jest w żaden sposób precyzyjnie zdefiniowany, a tzw. wskaźników roślinności (to jest poprawna ich nazwa) może być co najmniej 100 a bywa, że znacznie więcej. Doktorant pisze też często „ (...) badania stanu wegetacji lasów” co jest niepoprawne stylistycznie i zupełnie zbędne jest używanie słowa „wegetacji” - gdyż lasy są formą roślinności jeśli autor rozumie pod pojęciem wegetacja coś żywego. Inny przykład z pracy: „ (...) w badaniach wegetacji..” czy „... brano również do monitorowania wegetacji roślinności podszycia lasu ...” powinno zastępować się badaniami formacji roślinnych czy zbiorowisk roślinnych, a nie powielać kalki językowej (ang. vegetation).

Częste problemy ma też Autor z rozróżnieniem, czym jest gatunek a czym rodzaj w taksonomi drzew co opisałem powyżej. Dodatkowo sprawę komplikuje fakt, iż mamy w Polsce często do czynienia z ekotypami tego samego gatunku, szczególnie w przypadku drzew liściastych. Dla dębu szypułkowego występują formy bardzo wczesnie się ulistniające (*Quercus robur* L. forma *praecox*) oraz później pokrywające się aparatem asymilacyjnym (forma *tardiflora*). Różnice czasowe w obrębie gatunku mogą dochodzić do 10 i więcej dni co wskazuje, iż nawet ten sam gatunek nie może być uniwersalnym bioindykatorem konkretnej fazy fenologicznej w drzewostanie, gdyż w sposób naturalny rozpoczyna wcześniej okres wegetacji prawdopodobnie na poziomie genetycznej zmienności.

Bardzo niestylizyczne lub wręcz niefachowe jest używanie przez autora określenia „maska pikseli leśnych” czy „rozpoznanie dębów w bazie danych” bądź też terminu „drzewa przewodnie” (zamiast dominujące gatunki drzew) albo dość żargonowe „start wegetacji” (zamiast początek okresu wegetacji) i „gola gleba” jako grunt/gleba pozbawiona pokrywy roślinnej. Należałoby te wymienione niedociągnięcia poprawić przed złożeniem pracy do druku by podnieść wartość publikacji unikając niepotrzebnych uwag recenzentów.

## 11. Podsumowanie i wniosek końcowy

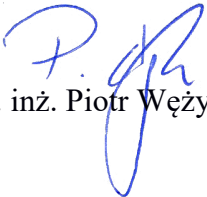
Przedłożoną pracę doktorską Pana mgr Macieja Bartolda, pomimo wymienionych powyżej niewielkich usterek oceniam jednak niezmiernie wysoko. Jest ona przykładem dojrzałej pracy naukowej, na realizację której Autor poświęcił zapewne wiele lat żmudnej

pracy kameralnej z danymi obrazowymi i klimatycznymi ale także na rozległe studia literaturowe oraz budowanie świetnego warsztatu badawczego (znajomość oprogramowania TIMESAT jakim się posługuje). Praca wykazuje bardzo dobrą ogólną widzę teoretyczną kandydata w zakresie nauk o Ziemi w dyscyplinie geografia oraz potwierdza umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy badawczej. Doktorant podjął niełatwy temat dysertacji wskazując tym samym na trendy rozwoju badań w zakresie przetwarzania obrazów teledetekcyjnych, szczególnie w aspekcie ich częstego pozyskiwania, przetwarzania i analizy w kierunku wsparcia naziemnych tradycyjnych metod określania początku, zakończenia i długości okresu wegetacji na podstawie danych meteorologicznych, co może być niebawem kluczowe zarówno dla leśnictwa (np. dobór gatunków lasotwórczych w zasięgu ich występowania podlegających zmianom geograficznym, sekwestracja dwutlenku węgla, magazynowanie biomasy ale i zagrożenia pożarami np. w sytuacji występowania suszy) jak i przemian pozostałych klas pokrycia terenu (LULC).

Po wnikliwym zapoznaniu się z przedłożoną dysertacją, stwierdzam, iż wkład Doktoranta Pana mgr inż. Macieja Bartolda w zakresie nauk związanych z szeroko pojętym teledetekcyjnym monitoringiem formacji roślinnych tworzących klasy pokrycia terenu jest znaczący.

Przedstawiona rozprawa zawiera oryginalne rozwiązanie prawidłowo postawionego i mającego istotne znaczenie praktyczne - problemu badawczego czyli weryfikacji metody bazującej na wykorzystaniu znormalizowanego wskaźnika różnicowego roślinności (NDVI) pochodzącego z przetwarzania obrazów misji VEGETATION do określania charakterystyk czasowych okresu wegetacji lasów liściastych w Polsce w wieloleciu 1999-2016 - **spełnia wszelkie warunki określone w ustawie z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2017 poz. 1789) - i rekomenduję** tym samym Radzie Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego – jej **dopuszczenie do publicznej obrony i do dalszych etapów przewodu doktorskiego.**

Wnoszę jednocześnie o wyróżnienie przedłożonej rozprawy doktorskiej.

  
dr hab. inż. Piotr Wężyk, prof. UR