

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

Kraków, dn. 08.06.2019 r.

## RECENZJA

**rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Sebastiana Aleksandrowicza,**  
*pt.: "Detekcja i klasyfikacja zmian pokrycia terenu na zdjęciach satelitarnych bardzo  
wysokiej rozdzielczości"*

przygotowanej w Katedrze Geoinformacji, Fotogrametrii i Teledetekcji Środowiska na  
Wydziale Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska Akademii Górniczo-Hutniczej im.  
Stanisława Staszica w Krakowie (Promotor: dr hab. inż. Stanisław Lewiński, prof. CBK  
PAN).

### Podstawa przygotowania recenzji

Formalną podstawą sporządzenia recenzji jest pismo (WGGiIŚ/116-1/19) Dziekana  
Wydziału Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska Akademii Górniczo-Hutniczej im.  
Stanisława Staszica w Krakowie, Pana prof. dr hab. inż. Stanisława Gruszczyńskiego z dnia  
**29.03.2019** roku. W niniejszym piśmie zostałem wskazany jako recenzent w przewodzie  
doktorskim Pana mgr inż. Sebastiana Aleksandrowicza i na tej podstawie dokonałem recenzji  
pracy, która niniejszym przedkładam.

### Wstęp

Dysertacja autorstwa mgr inż. Sebastiana Aleksandrowicza została przygotowana na  
Wydziale Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska Akademii Górniczo-Hutniczej im.  
Stanisława Staszica w Krakowie a jej zakres tematyczny jest w ściśle związany z  
wcześniejszymi i obecnie realizowanymi badaniami w tej jednostce w zakresie przetwarzania  
wysokorozdzielczych zobrażeń satelitarnych pod kątem automatycznego ich przetwarzania  
w aspekcie aktualizacji przestrzennych baz danych.

### Ocena formalna pracy

Przedłożona do recenzji rozprawa obejmuje 117 stron maszynopisu i została  
sporządzona całkowicie w języku polskim. Zawiera ona łącznie 19 tabel i 41 rycin oraz dwa  
Załączniki. Tytuł dysertacji w pełni odpowiada treści pracy i nie budzi wątpliwości co do

treści samej pracy. Układ dysertacji w zasadzie nie odbiega od zwykle stosowanego w naukach technicznych, może jednak poza wyraźnie wydzielonych przez Doktoranta rozdziałów: Wyniki oraz Dyskusja wyników. Co prawda w Rozdziale 6 recenzent znajduje dwa podrozdziały z Wynikami - ale nie odnalazłem wyraźnie wydzielonego rozdziału z dyskusją uzyskanych przez Doktoranta wyników.

Struktura przedłożonej dysertacji obejmuje: Spis treści, słowniczek używanych akronimów, streszczenie w języku polskim oraz w angielskim (6 stron; 5% tekstu), Wstęp (7 stron, 6%), Rozdział 2 (21 stron, 18%), Rozdział 3 (4 strony, 3% ), Rozdział 4 (4 strony, 34%), Rozdział 5 (40 stron, 34%), Rozdział 6 (6 stron; 5%), Rozdział 7 (3 strony; 3%), Rozdział 8 (5 stron; 4%) Rozdział – Bibliografia (7 stron; 6%). Pozostałe spisy tabel i rycin oraz Załączniki zajmują łącznie 15 stron dysertacji (13%)

Poszczególne rozdziały zostały podzielone na czytelne podrozdziały ułatwiające studiowanie pracy i nawigowanie po jej zawartości. Spis literatury (Bibliografia) liczy 73 pozycje. Tylko 16 pozycji, tj. 22% ze wszystkich cytowanych pozycji literatury pochodzi z ostatnich 5 lat (od 2014 roku).

Pięć pierwszych wymienionych powyżej rozdziałów Autor podzielił na wyraźne podrozdziały pozwalające czytelnikowi w logiczny sposób rozumieć, poruszać się i zagłębiać w szczegóły pracy. Niestety rozdział 6. Wyniki i dalszy rozdział 7. Stopień automatyzacji procesu nie zawierają w zasadzie szerokiej dyskusji i zostały wg recenzenta niepotrzebnie rozdzielone.

W rozdziale 1 Wprowadzenie, dość krótko, choć rzeczowo Doktorant opisuje przyczyny podjęcie problemu badawczego, dalej w podrozdziale Cel pracy definiuje właściwy cel główny cel badań, pięć celów pośrednich i stawia hipotezę badawczą, iż *„Wykorzystanie pikselowych oraz obiektowych metod analizy obrazów pozwala na opracowanie automatycznej metody wykrywania oraz klasyfikacji wybranych zmian pokrycia terenu na parach zdjęć satelitarnych bardzo wysokiej rozdzielczości.”* Trochę szkoda, iż Autor może skromnie, ale nie definiuje wyraźnie, iż w zasadzie nie chodzi tu o jedną czy dwie pary jak pisze później „testowych zdjęć” ale w przekonaniu recenzenta – o całe szeregi czasowe pozyskiwanych zobrazowań satelitarnych, które w ostatnich dziesięcioleciach pokryły te same fragmenty kontynentów już ponad kilkaset razy. Tego typu informacje dziś służyć mogą nowym analitycznym rozwiązaniom klasyfikacji obrazu bazujących na tzw. głębokim uczeniu (ang. deep learning).

W rozdziale drugim, który powinien poprzedzać cele badań, Autor przedstawia metody wykrywania zmian w klasach pokrycia i użytkowania terenu oraz wprowadza czytelnika w zakres analiz obrazu GEOBIA, w tym procesu segmentacji i klasyfikacji.

Autor dokonuje też porównania tradycyjnej metody klasyfikacji pikselowej bazującej jedynie na statystyce wartości jaskrawości piksela (DN) zapisanej w poszczególnych separowanych kanałach spektralnych do innowacyjnej analizy obrazu GEOBIA. Doktorant prezentuje też algorytm przekształcenia kanonicznego (MAD), który jest alternatywą dla klasyfikacji obiektowej w kierunku wykrywania zmian i typów konwersji klas LULC.

W rozdziale nr 3 Doktorant opisuje obszar treningowy ulokowany w gminie Niepołomice (woj. Małopolskie). Moje uwagi co do konstrukcji tego rozdziału przedstawiłem poniżej Gdynie zgadzam się z prezentowaniem charakterystyk wykorzystywanych obrazów w tym rozdziale. Co więcej Doktorant powinien w tym rozdziale opisać też obszar Warszawy na jakim testował zbudowane przez siebie algorytmy. W jednym i drugim przypadku prowadził ona badania, tyle że w Niepołomicach uczył algorytm a w Warszawie go sprawdzał. Jak sam pisze obszar Warszawy to dodatkowe dane testowe (rozdział 6) a więc kolejny obszar badań. Tu właśnie w tym rozdziale niestety rozpoczyna się już lekki chaos z wyodrębnieniem właściwej części opisowej stosowanej Metodyki i Wyników.

Przyjęta Metodykę Autor przedstawia w rozdziale czwartym - Metoda detekcji zmian, w którym definiuje ogólny schemat swojego postępowania od wstępnego przetwarzania obrazów satelitarnych, aż po końcowy wynik mapy zmian LULC. Rozdział ten powinien nazywać się Metodyka, jak przyjęto w tego typach dysertacji.

W następnym rozdziale nr 5 Opracowanie algorytmu, który wg Recenzenta niepotrzebnie wprowadzono z rozdz. *Metoda detekcji zmian*, autor szczegółowo opisuje kolejne etapy postępowania oraz kontekstową analizę zmian. Umożliwia ona w efekcie na wprowadzenie nienadzorowanej klasyfikację dla wybranych typów przemian klas, która Autor definiuje jako konwersję. Niepotrzebnie autor dokonuje w tym rozdziale jakichkolwiek analiz wyników, gdyż nie jest to odpowiednie miejsce.

Kolejny rozdział 6 zamiast nazywać się Wyniki i tam przedstawić osiągnięte dokładności algorytmów, to Autor wprowadza dodatkową niejasność jak „*Zastosowanie algorytmu na przykładzie dodatkowych danych testowych*”. W moim przekonaniu Autor powinien traktować to jak walidację swych algorytmów i przedstawić łącznie w jednym rozdziale wspomagając dyskusją z wynikami osiągniętymi przez innych autorów.

Tym bardziej dalej już niezrozumiałym jest tworzenie osobnego rozdziału 7 stopień automatyzacji procesu, który w zasadzie mógłby stanowić albo podrozdział Podsumowanie i wnioski lub Dyskusji, której nie wyodrębniono.

Dysertacje kończą rozdziały Bibliografia, Spis ilustracji i tabel oraz dwa Załączniki z wydrukami barwnych kompozycji map wynikowych.

Autor dysertacji położył największy nacisk na wykazanie możliwości wykorzystania automatycznych procedur wykrywania zmian na obrazach na drodze autonomicznej analizy (segmentacji i klasyfikacji) wysokorozdzielczych wielospektralnych zobrażeń satelitarnych, przy czym Doktorant przedstawia autorską metodykę hybrydowej analizy obrazu. Co więcej autor przygotował algorytm analizy obrazu, który nie jest uzależniony od specyficznego sensora jakim pozyskano dane. Oznacza to dużą uniwersalność opracowanego rozwiązania i możliwość wykorzystywania do badań czy praktycznych wdrożeń danych pochodzących z różnych systemów obrazowania Ziemi.

#### **Ogólne uwagi recenzenta**

Nie budzi jakichkolwiek wątpliwości, iż tematyka dysertacji podjęta przez mgr inż. Sebastiana Aleksandrowicza jest niezmiernie aktualna i ważna w prowadzeniu współcześnie innowacyjnych badaniach środowiska zmierzających do pełnej automatyzacji procesów aktualizacji baz danych (rejestrów). 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. Co więcej, przy tej gigantycznej ilości gromadzonych zbiorów, często rozproszonych na różnych macierzach serwerowych, to właśnie automatyka ich przetwarzania zdalnego bez potrzeby ściągania obrazów (np. Google Earth Engine) to droga przyszłej teledetekcji. Wyniki przetworzeń obrazów optycznych bądź satelitarnych powinny automatycznie zasilać i aktualizować gromadzone w bazach LULC informacje wektorowe i kontekstowe. To właśnie jest najmocniejszą stroną recenzowanej Dysertacji, która wskazuje po części konieczna droga jaką trzeba szybko obrać w teledetekcji satelitarnej.

Autor posiada bardzo mocny ugruntowany warsztat programistyczny, który pozwala mu zarówno przygotowywać wstępnie obrazy, korzystać z implementacji innych modułów, dokonywać wykrycia klas podlegających konwersji, segmentacji i innych przetworzeń, w tym klasyfikacji obrazu.

Autor posługuje się w zaproponowanej metodzie korekcją geometryczną, atmosferyczną oraz maskowaniem cieni, które ze względu na różne położenie Słońca w momencie akwizycji danych wprowadzają dodatkowe zaburzenie. Mogą się jednak okazać pomocne w sytuacji, ich wykorzystania do kontekstowej klasyfikacji ujawniającej istnienie wysokich obiektów, graniczących z cieniem (np. wysokie budynki dają cień a brak cienia w tym miejscu wskazuje na brak wysokiego obiektu np. usuniętych zadrzewień).

Zaproponowana metoda wykrywania obszarów podlegających zmianom (algorytm analizy MAD) wpisała się w założenie autora o potrzebie stosowania automatycznych przetworzeń obrazu na każdym kroku jego analizy. W tym celu zaproponowany został kolejny krok GEOBIA bazujący na segmentacji typu wielo-wymiarowego (*ang.* multiresolution), przy czym parametr *Scale* ustalany był w oparciu o wartości średnie statystyk segmentów (wariancja). Autor wykazał, że metoda ta daje bardzo zbliżone rezultaty do osiągniętych przez operatora na drodze manualnej. W celu wyeliminowania specyficznych sytuacji powodowanych różnicami w rozwoju fenologicznym roślin (różne daty wykonywania zobrażeń) autor sięgnął po parametr tekstury (filtr Lee Sigma). Otrzymane dokładności klasyfikacji (> 87%) przez Autora wydają się być zadawalające i zbliżone do prac innych autorów wykorzystujących automatyczną analizę obrazu. Na wartości błędów wpływa dość mocno sposób przeprowadzonej standardowej ortorektifikacji z wykorzystaniem NMT a nie NMPT, dzięki któremu można by wygenerować prawdziwą ortofotomapę. Jest to jednak zadanie bardzo trudne i wymaga aktualnych danych wysokościowych w każdym okresie akwizycji danych. Autor zwraca uwagę, że jego metoda mogłaby zostać zaimplementowana do obrazów o niższej rozdzielczości przestrzennej takich jak pochodzących z PlanetScope (Dove) czy Sentinel-2 (ESA; Copernicus). Niestety nie przeprowadzono ani nie zacytowano w podsumowaniu podobnych prac innych autorów poza własną współautorską (2014). Autor zwraca też na uwagę, iż wykorzystanie zaproponowanej metody segmentacji uzależnia badacza od jedynego w zasadzie komercyjnego oprogramowania eCognition z opatentowanym algorytmem segmentacji obrazu. Rozwiązaniem więc jest poszukiwanie oprogramowania Open Source lub pisanie własnego kodu algorytmu.

### **Uwagi szczegółowe recenzenta**

Pomimo ogromu pracy 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 po to by pomóc

Doktorantowi zrozumieć poprawną strukturę Dysertacji oraz ułatwić recenzje późniejszych publikacji jej fragmentów, bo jest ona z pewnością tego warta.

1. W spisie akronimów Autor nie stosuje polskiego tłumaczenia a jedynie rozwija ang. akronimy. Jestem przekonany, iż wielu czytelników pracy doceniło by tłumaczenie na język polski, choćby dlatego, że część opisów jest w języku polskim (np. BDOT). W przypadku GE oraz VW2 raczej proponowałbym stosować opis platforma satelitarna (czyli statek, system rejestracji obrazu i inne) a nie „satelita” (czyli statek kosmiczny).
2. W całej pracy Doktorant używa pojęcia „zdjęcie satelitarne”, co w mojej opinii jest pewnego rodzaju zbyt dalekim uproszczeniem i w zasadzie graniczy z żargonem. Proponuje stosować pojęcie zobrazowanie satelitarne lub obraz cyfrowy, który lepiej definiuje te dane. Pojęcie „zdjęcie satelitarne” przypisywane jest raczej systemom fotograficznym takim jak KVR czy KH (Corona) stosującym w przeszłości analogowe materiały. Rozumiem, że Autor zastosował tłumaczenie angielskiego słowa „Image” zbyt wprost. Podobnie za żargon i uproszczenie można uznać słowo „spasowanie” obrazów (str. 39) czy też „długości fal Landsata” (skaner TM nie wysyła żadnych fal a jedynie posiada detektor czuły w pewnych określonych zakresach).
3. Autor we Wstępie jednym ciągiem wymienia zobrazowania Landsat jako wysokorozdzielcze razem z produktami SPOT czy IRS. Recenzent byłby niezmiernie ciekawy odpowiedzi na pytanie: jaką współcześnie stosujemy granicę rozdzielczości terenowej piksela do zdefiniowania pojęcia VHRS (bardzo wysokorozdzielcze) oraz HR (wysokorozdzielcze). Doktorant opisuje te rozdzielczości w zasadzie dalej (np. 1.2 Cel pracy) ale pisze dość lakonicznie np. „o rozdzielczości przestrzennej minimum 1 m” co dla czytelnika może nie być jasne. Co ciekawe Autor Dysertacji w tytule zastosował pojęcie „zdjęć satelitarnych o bardzo wysokiej rozdzielczości” – czy nie należało używać spójnego pojęcia – *wysokorozdzielcze zobrazowania satelitarne* w całej pracy? Myślę, że tak byłoby bardziej poprawnie.
4. Autor dokonuje skrótów bez wgłębiania się w historię poszczególnych wersji CLC np. z 1990 roku podając wartość 5 ha jako minimalną jednostkę przestrzenną w opracowaniach CLC generalnie.
5. Wiele zdań wymaga znaczącej korekty stylistycznej by uznać je za zrozumiałe i odpowiednie dla tego typu pracy. Przykładowo, doktorant dokonuje skrótów myślowych „Baza CORINE pokazuje skalę zjawiska zmiany na obszarze Europy, przykładowo w latach 2006-2012 było to ok. 2,5%....” „autor nie definiuje o zmianę

czego konkretnie mu chodzi. Podobnie dość nieprecyzyjne autor opisuje zachmurzenie scen pisząc o dniach pochmurnych a nie o zachmurzeniu. Autor używa trywializmów np. „Jak widać są to klasy ogólne..” (str. 44) albo „Jak pokazuje rysunek..” (str. 45). Proponuje nie stosować stwierdzenia „interpretacja manualna” ale fotointerpretacja lub wzorkowa interpretacja.

6. W rozdziale 1.2. Cel pracy autor pisze „*Metoda pozwala na porównywanie danych zarejestrowanych przez różne systemy satelitarne, dzięki czemu analizowane zdjęcia nie muszą być jednakowe*” – recenzent nie wie w takiej sytuacji czy ma to stwierdzenie interpretować jako cel do osiągnięcia w pracy, czy też jako stwierdzenie faktu , że tak po prostu zawsze jest.
7. Recenzent uważa, iż Rozdział 1.1. jest stosunkowo słabo rozwinięty pod kątem aktualnego stanu teledetekcji satelitarnej, trendów rozwoju sektora teledetekcji satelitarnej (np. Nano-satelitów HS) oraz metod przetwarzania (np. Google Earth Engine) i baz danych referencyjnych (rejestrów publicznych; stanu implementacji INSPIRE i wynikających z tego obowiązków instytucji odpowiedzialnych za aktualizacje zestawów danych). Gdyby zmienić strukturę pracy to część materiałów z metodyki i innych rozdziałów wzbogaciłaby Wstęp.
8. W opinii recenzenta Rozdział 1.3. jest całkowicie zbędny.
9. Tytuł Rozdziału 2.1 „Czym jest detekcja zmian” w mojej opinii nie pasuje całkowicie do pracy jaką jest dysertacja nosi charakter pewnej „infantylności” tekstu. Proszę unikać takich stwierdzeń czy zapytań o charakterze popularyzatorskim. Cały rozdział 2.1. powinien stanowić część Wstępu o odpowiedniej strukturze.
10. Praca stylistycznie i technicznie posiada mnóstwo usterek jak rozpoczynanie zdania od małej litery i niejasną jego budowę (np. str. 13 „, mimo.... ,”). Często recenzent ma wrażenie pisania pracy w pośpiechu z „połykaniem” dość ważnych rozwinięć jak np. pierwsze zdanie w rozdz. 3.1., w którym autor pisze o klasyfikacji zmian, ale nie wskazuje zmian czego? ( w domyśle LULC). Podobnie niedbałość o szczegóły jak: Nir-infrared (Tabela 2) zamiast NIR-InfraRed czy wymiennie stosowane znaki przecinka oraz kropki jako miejsc dziesiętnych. Autor nie dba o styl tabel (np. Tab. 9) nie stosując tej samej reguły co do miejsc dziesiętnych. Autor nie odwołuje się w tekście to tabeli (str. 58 do tab. 6) lub nieprecyzyjnie odwołuje się do rozdziałów pisząc „*poprzednim rozdziale*” (ale którym?). Tabela nie ma np. powtarzanego nagłówka (str. 59) co utrudnia jej analizę. W pracy występują liczne puste miejsca nieuzasadnione przerwy np. str. 61, 72 czy 94.

11. Wydaje się, iż Autor bardzo chętnie stosuje kalki językowe, które w przypadku dysertacji nie powinny być stosowane albo prowadzą to pewnego spłylenia czy niezrozumienia i stają się żargonem (np. str. 13 ; siły natury? – może należy je podzielić na czynniki abiotyczne i biotyczne?); str. 26 „pansharpeningowi”; „zdjęcia multispektralne” (rys. 4) zamiast obrazy wielospektralne (np. rozdz. 5.1.4.); indeks roślinności NDVI (Rys. 7) zamiast wskaźnik roślinny NDVI (np. rozdz. 5.3.4.) ; „zdjęcie panchromatyczne” – zamiast obraz pochodzący z rejestracji z kanału PAN.
12. W tabeli nr 12 Autor pomija w bezpośredniej działalności człowiek również jego działalność pod kątem zwiększania lesistości (zalesienia).
13. Autor bardzo generalizuje sytuację np. str. 14 pisze ”Przykładem konwersji jest .. wylesianie”. Nie zawsze niestety jest to tak trywialna konwersja (zmiana klasy pokrycia). W rozumieniu ustawy o lasach czy nawet baz BDOT, użytkowanie w postaci cięć rębnych (wg autora „wylesienie”) nie zmienia klasy użytkowania terenu. Co prawda zmienia się roślinność ale grunt wciąż w bazach danych pozostaje lasem. W przypadku analizowania obrazów z obszaru Polski ma to tym bardziej znaczenie i jest bardzo złożonym problemem kartograficznym i prawnym, z którym nie tylko autor ma kłopot ale większość baz danych. Na str. 18 Autor pisze, iż „*metody analizy wartości spektralnych nie pozwalają na rozróżnienie zmian fenologicznych roślinności od tzw. zmian tematycznych*” - a co ze zmianą np. klasy „las” w klasę „wody stojące”? – myślę, że autor mocno generalizuje.
14. Rysunek 2. – opis Dół; proponuje używać nazwy klasa „Zadrzewienie” a nie „Las”.
15. W sytuacji pierwszego użycia akronimu powinno się go w pełni rozwinąć pomimo opisu w słowniku skrótów (rozdz. 2.4. OBCD).
16. Pojęcie „Geometryzacja zdjęć” (str. 25) powinno się zastąpić pojęciem „kalibracja obrazów” albo „nadawaniem georeferencji” – gdyż sugeruje to jakoby obrazy nie posiadały geometrii.
17. Rozdział 2.6 – ocena dokładności klasyfikacji. Autor pisze o porównaniu pikseli do punktów co oczywiście jest bardzo dużym uproszczeniem, gdyż w terenie pozyskuje się zwykle obszary (poligony) reprezentujące odpowiednie klas pokrycia i użytkowania terenu (LULC).
18. Zdania nie należy rozpoczynać od słowa „Ponieważ” (str.: 24, 28 oraz 30). Zdania zawsze zaczynać się muszą od dużej litery (str. 37, 68 „. co więcej..”)
19. W rozdziale 3. Obszar badań nie powinno się umieszczać charakterystyki obrazów satelitarnych, gdyż ich miejsce jest w rozdziale Metodyka.



20. W schemacie blokowym detekcji zmian (nie wiadomo zmian czego?) autor pomija sytuacje kiedy np. łąka jest transformowana do budynku z zielonym dachem (spektralna charakterystyka identyczna jak klasa „łąka”). Autor nie proponuje użycia warstw pośrednich w procesie GEOBIA jak zNMPT (nDSM).
21. Recenzent chciałby uzyskać odpowiedź na pytanie czy Doktorant poddawał obrazy korekcji atmosferycznej i ortorektyfikacji - jeśli tak z jakim oczkiem (pikselem) modelu NMT. Dodatkowo czy w procesie segmentacji uczestniczył kanał PAN czy też obrazy spektralne przez krokiem segmentacji poddano procesowi wyostrania („PAN-sharpening’), o którym autor pisze na stronie 38. Na stronie 40 autor pisze dalej o ortorektyfikacji jednak w sposób trochę teoretyczny. Nie podaje źródła pochodzenia ani aktualności czy dokładności NMT, a jedynie jego rozdzielczość 1.0 m.
22. Na Rysunku 8 (zresztą podobnie na większości) autor nie podaje czy to obraz T1 czy T2 ani też jaka jest to kompozycja kanałów lub czy jest to kanał PAN. Autor myli w opisie lokalizację lasu na części północnej z południową (str. 39).
23. Niezrozumiałym jest podawania w Rozdziale Metodyka na stronie 45 Wyników uzyskanych klasyfikacji, które powinny się znaleźć w rozdziale Wyniki. Podobnie dalsze treści jak rozdział 5.2 prezentuje wyniki a nie Metodykę. Identyczna sytuacja wprowadza chaos na stronie 58 gdzie podawane są wyniki o całkowitej powierzchni zmian jakie zaszły w interwale czasu T1-T2, zamiast umieścić je w rozdziale Wyniki.
24. Na rysunku 12 nie można dostrzec przebiegu wartości obrazu oryginalnego opisanego w legendzie jako linia czarna.
25. W rozdziale 5.1.5. – proponuje używać określenia orientacji sensora względem Ziemi ze względu na uchylny charakter kamer systemów VHRS.
26. Rozdział 5.3.5 powinien być częścią rozdziału Wprowadzenie.
27. Recenzent nie do końca zgadza się z Doktorantem, iż faza fenologiczna roślinności pozwala na detekcję klas. Mogą być sytuacje, iż zboża mają tą samą fazę „kłoszenia” ale ich zróżnicowanie gatunkowe (anatomia) powoduje różnice a nie fenologia, która jest stanem bardziej fizjologicznym.

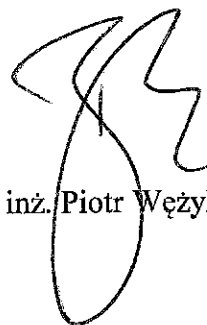
## 11. Podsumowanie i wnioski końcowe

Przedłożoną pracę doktorską Pana mgr inż. Sebastiana Aleksandrowicza, pomimo wymienionych powyżej stwierdzonych usterek oceniam jednak bardzo wysoko. Jest ona przykładem dojrzałej pracy naukowej, na realizację której Autor poświęcił zapewne wiele lat pracy kameralnej i studiów literaturowych oraz budowania warsztatu badawczego (znajomość

oprogramowania jakim się posługuje np. eCognition czy Matlab świadczy o tym). Praca wykazuje dobrą ogólną widzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie geodezja i kartografia (obecnie inżynieria lądowa i transport) 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 pełnej automatycznej analizy w uwzględnieniu wykrywania przemian jakim podlegają klasy pokrycia terenu. Szkoda, iż przy posiadanym warsztacie programistycznym Doktorant nie podjął się próby wygenerowania obrazów typu „true orthophoto” (prawdziwa ortofotomapa) w oparciu o proces ortorektyfikacji z wykorzystaniem modelu zNMPT (np. z projektu ISOK). Choć zadanie to nie byłoby łatwe, to pomogłoby zapewne w eliminacji błędów prezentowanych na rysunku 34.

Po wnikliwym zapoznaniu się z przedłożoną dysertacją, stwierdzam, iż wkład Doktoranta Pana mgr inż. Sebastiana Aleksandrowicza w zakresie nauk związanych z szeroko pojętą teledetekcją satelitarną oraz kartografią cyfrową, a w szczególności w zakresie zaawansowanej analizy obrazu (GEOBIA) - jest znaczący.

Przedstawiona rozprawa zawiera oryginalne rozwiązanie prawidłowo postawionego i mającego istotne znaczenie praktyczne - problemu badawczego czyli opracowania hybrydowej metody bazującej na klasyfikacji pikselowej oraz obiektowej analizie obrazów w celu opracowania algorytmu wykrywania i klasyfikacji przemian w pokryciu terenu - 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 Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska AGH w Krakowie - dopuszczenie jej do publicznej obrony i do dalszych etapów przewodu doktorskiego.



dr hab. inż. Piotr Wężyk, prof. UR