

dr hab. inż. Piotr Wężyk, prof. URK
Katedra Zarządzania Zasobami Leśnymi
Wydział Leśny
Uniwersytet Rolniczy im. H. Kołłątaja w Krakowie
al. Mickiewicza 21
31-120 Kraków

Kraków, dn. 26 lipca 2023 r.

Recenzja rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Katarzyny Siok

pt. *„Symulacja dodatkowych kanałów dla zdjęć lotniczych w aspekcie podwyższania ich jakości spektralnej”*.

Formalną podstawą sporządzenia recenzji pracy doktorskiej było pismo z dnia 16.09.2021 roku (numer WYCH/N/00399/2021) Pana płk. prof. dr hab. inż. Michała Kędzierskiego - Przewodniczącego ówczesnej Rady Dyscypliny Naukowej „Inżynieria Lądowa i Transport” na Wydziale Inżynierii Lądowej i Geodezji Wojskowej Akademii Technicznej. W niniejszym piśmie zostałem wskazany jako recenzent (powołany decyzją Rady Dyscypliny Uchwała nr 32/RDN/ILiT/2021 z 14 września 2021 r.) rozprawy doktorskiej w przewodzie doktorskim Pani mgr inż. Katarzyny Siok pt. *„Symulacja dodatkowych kanałów dla zdjęć lotniczych w aspekcie podwyższania ich jakości spektralnej”* i na tej podstawie dokonałem recenzji w listopadzie 2021 roku.

Ze względu na konieczność uzupełnienia rozprawy przez Doktorantkę na wniosek innego recenzenta przedłożony w listopadzie 2021 roku, w dniu 26 maja 2023 roku ponownie otrzymałem uzupełnioną rozprawę doktorską Pani mgr inż. Katarzyny Siok do ponownej recenzji, co niniejszym czynię.

Wstęp

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska Pani mgr inż. Katarzyny Siok, zgodnie z Ustawą z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (t.j. Dz. U. z 2020 r. poz. 85 ze zm.) stanowi spójny tematycznie zbiór artykułów opublikowanych w języku angielskim, które ukazały się w punktowanych czasopismach naukowych lub recenzowanych materiałach konferencyjnych w latach: 2016, 2017, 2018 oraz 2020. Prace będące podstawą dysertacji ukazały się w czasopismach specjalizujących się w tematyce fotogrametrii oraz teledetekcji.

Oceniana dysertacja jest oparta na spójnym tematycznie cyklu 6 prac opublikowanych w języku angielskim w krajowym, międzynarodowych czasopismach naukowych oraz recenzowanych materiałach konferencyjnych oraz na Autoreferacie. Wybrane parametry

bibliometryczne publikacji zestawiono poniższej (Tab. 1).

Tabela 1. Zestawienie wybranych parametrów bibliometrycznych prac wchodzących w skład pracy doktorskiej Pani mgr. inż. Katarzyny Siok.

Rok	Czasopismo	Pkt wg wykazu czasopism MNiSW	IF	Udział doktorantki
2016	Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji	7		60%
2018	Recenzowane materiały konferencyjne SPIE Remote Sensing	15		25%
2017	Journal of Applied Remote Sensing	20	0,976	50%
2020	Open Geosciences	40	1,229	70%
2020	Computers and Electronics in Agriculture	100	5,565	50%
2020	Sensors	100	3,576	60%

Układ i treść pracy doktorskiej

Układ przedłożonej dysertacji jest następujący: zaczyna się od liczącego 69 stron polskojęzycznego Autoreferatu, na który składają się: Streszczenia w języku polskim i angielskim, Spis treści, Wykaz użytych skrótów, 4 numerowane rozdziały, tj.: 1. Cel badań; 2. Cykl publikacji, 3. Realizacja badań oraz osiągnięte wyniki; 4. Podsumowanie i wnioski, oraz nienumerowane rozdziały: Literatura (94 pozycje) oraz Załączniki, tj. reprinty sześciu publikacji oraz kopie oświadczeń o udziale autorów w poszczególnych publikacjach.

Ocena pracy doktorskiej

Układ i objętość

Układ przedłożonej dysertacji jest dość typowy dla tzw. spójnego cyklu prac, a objętość Autoreferatu w stosunku do załączonych reprintów prac jest odpowiednia. Podział Autoreferatu na rozdziały jest bardzo typowy dla tego rodzaju prac i poprawny. Rozdział nr 4. Mogła Doktorantka lepiej ustrukturyzować, jasno podkreślając swoje wnioski płynące z wyników. Rozdział ten bowiem zawiera zarówno podsumowanie wyników prac ale i po części przegląd literatury czy też w ostatnim zdaniu definiowane są przyszłe plany Autorki, zamiast jasnego wypunktowania wniosków i odwołania się do zamierzonych celów i postawionych hipotez badawczych.

Wartość naukowa dysertacji

Wartość naukowa pracy doktorskiej w spełnia stawiane tego typu opracowaniom wymagania. Na podstawie zaplanowanych i po kolei realizowanych badań (z pewnością wymagających opanowania złożonych interdyscyplinarnych technologii: analizy obrazu, teledetekcji, fotogrametrii, fotointerpretacji, statystyki, itp.), Autorka przedstawiła szereg interesujących, po części nowatorskich wyników analiz wykonywanych na obrazach fotolotniczych oraz zobrazowaniach satelitarnych.

Streszczenie

W rozdziale Streszczenie i dalej w rozdziale 1. *Cel badań* Doktorantka dokonuje analizy historycznej zasobów materiałów fotolotniczych w Polsce podkreślając istniejące braki w zakresie pozyskiwania w przeszłości zdjęć lotniczych innych niż na materiale panchromatycznym (PAN). Słusznie Doktorantka zauważa, iż w wielu przypadkach badań środowiskowych, to właśnie kompozycje barwne uzyskiwane dzięki odpowiedniej budowie materiałów światłoczułych (jak np. filmów analogowych do zdjęć spektrostrefowych, tzw. zdjęciach CIR, czułych w zakresie NIR oraz VIS) - posiadają one największą wartość fotointerpretacyjną.

Małym błędem stylistycznym Autorki, w rozdziale Cel badań, jest stwierdzenie, iż w pzgik „od 2012 roku dostępne są wyłącznie zdjęcia pozyskiwane kamerami cyfrowymi”. W ostatnich latach wykonano bowiem gigantyczną pracę cyfryzacji analogowych materiałów fotolotniczych gromadzonych w pzgik, i faktycznie w zasadzie tylko dane w formie cyfrowej można pozyskać dziś z zasobu, ale nie oznacza to, że zostały one zarejestrowane kamerami cyfrowymi.

W rozdziale *Cel badań* Doktorantka definiuje cel pracy tj. **opracowania metody symulacji nowych kanałów dla zdjęć lotniczych celem podwyższenia ich jakości spektralnej**. Jednocześnie, definiuje też ona ważną hipotezę badawczą, iż **zastosowanie syntetycznych kanałów dla zdjęć lotniczych wpływa na podwyższenie ich jakości spektralnej**.

Recenzent stawia w tym miejscu otwarte pytanie: czy nie lepiej zamiast wyrażenia „jakość spektralna” byłoby stosować pojęcie „pojemności spektralnej” po części tożsamej z pojemnością informacyjną fotointerpretacji? Jakość spektralna, może bowiem wprost kojarzyć się często jakością techniczną samego sensora np. precyzyjnie utrzymującego swój zakres rejestracji pasma promieniowania elektromagnetycznego (np. wąskiego kanału RedEdge) w dłuższym okresie czasu (np. nie wymaga częstej kalibracji producenta). Z języka angielskiego „quality” oznacza jakość w sensie mierzalnych wartości, ale niekoniecznie ilościowość (ang. „quantity”), na którą często zwraca uwagę Doktorantka podkreślając ważność kolejnych kanałów spektralnych (w zasadzie powinno się używać „rozdzielczość spektralna”). Recenzent zakłada jednak, iż Autorka dysertacji podświadomie jednak rozumie szersze znaczenie pojęcia „jakości spektralnej” istotnej z punktu widzenia nie ilościowego a np. dla potrzeb fotointerpretacji lub klasyfikacji obrazu zastępowanej obecnie automatyczną analizą obrazu (ML czy AI).

Recenzent wciąż nie jest pewny w 100% czy zaproponowany tytuł rozprawy doktorskiej został dobrze dobrany, gdyż w 4 pracach Autorka opisuje wzmocnienie kanałów MS obrazów satelitarnych (Landsat-8, Sentinel-2, WorldView-2) kanałami symulowanymi z lotniczych wysokorozdzielczych ortofotografii cyfrowych (a nie zdjęć lotniczych). Stąd też stylistycznie tytuł rozprawy sugerujący podnoszenie jakości spektralnej zdjęć lotniczych a nie satelitarnych w zasadzie może być trochę mylący dla czytelnika.

Po rozdziale *Cel badań*, Autorka przedstawia cykl prac opisując zastosowane metody zaimplementowane w 5 etapach swoich badań, omawiając poszczególne publikacje naukowe.

Omówienie prac składających się na spójny cykl artykułów

Na rozprawę doktorską składa się cykl sześciu publikacji powiązanych ze sobą tematycznie opisanych w autoreferacie pod wspólnym tytułem *Symulacja dodatkowych kanałów dla zdjęć lotniczych w aspekcie podwyższenia ich jakości spektralnej*.

1. Ewiak I., Siok K. (udział 60%), Jenerowicz A., 2016. *Functionality assessment of algorithms for the coloring of images in terms of increasing radiometric values of aerial photographs archives*. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, vol. 28, pp. 11-24; doi: 10.14681/afkit.2016.001.
2. Ewiak I., Siok K. (udział 25%), Schismak A., Jenerowicz A., 2018. *Improvement of interpretability of archival aerial photographs using remote sensing tools* (2018), Proc. SPIE 10789, Image and Signal Processing for Remote Sensing XXIV, 1078925; doi: 10.1117/12.2325813.
3. Siok K. (udział 50%), Jenerowicz A., Woroszkiewicz M., 2017. *Enhancement of spectral quality of archival aerial photographs using satellite imagery for detection of land cover*, Journal of Applied Remote Sensing 11(3), 036001 (2017); doi: 10.1117/1.JRS.11.036001.
4. Siok K. (udział 70%), Ewiak I., 2020. The simulation approach to the interpretation of archival aerial photographs, Open Geosciences 12(1), pp. 1-10; doi: 10.1515/geo-2020-0001.
5. Siok K. (udział 50%), Jenerowicz A., Ewiak I., 2020. A simulation approach to the spectral quality of multispectral images enhancement (2020), Computers and Electronics in Agriculture 174; 105432; doi: 10.1016/j.compag.2020.105432.
6. Siok K. (udział 60%), Ewiak I., Jenerowicz A., 2020. Multisensor Fusion: A simulation approach to pansharpening aerial and satellite images, Sensors 2020, 20(24), 100; doi: 10.3390/s20247100.

Praca nr 1 (Ewiak I., Siok K. (udział 60%), Jenerowicz A., 2016. *Functionality assessment of algorithms for the coloring of images in terms of increasing radiometric values of aerial photographs archives*. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, vol. 28, pp. 11-24; doi: 10.14681/afkit.2016.001) dotyczyła oceny przydatności algorytmów przetwarzania obrazów cyfrowych do nadawania barw naturalnych (RGB) panchromatycznym obrazom lotniczym, pochodzących ze skanowania analogowych czarno-białych materiałów fotolotniczych. Autorzy pracy chcieli wykazać, iż przypisanie wartości chromatycznych wartościom luminancji pozwoli uzyskać produkty barwne o wyższych walorach interpretacyjnych. Dokonano oceny przydatności narzędzi dostępnych w programach graficznych. Okazało się, iż nie pozwoliły one na wykonanie automatycznej klasyfikacji obrazu a sam proces nadawania barw odbywał się jednak manualnie. Wszelkie inne czynności wykonywane przez operatora okazały się ponadto bardzo czasochłonne. Wyniki płynące z tej publikacji wskazują, iż proces kolorowania czarno-białych obrazów fotolotniczych jest

złożony, a dostępne (na etapie przygotowania publikacji) oprogramowanie graficzne wciąż jest niedoskonałe w zakresie wsparcia interpretacji. Niewątpliwie jest to jednak ciekawe techniczne (może niekonieczne naukowe) rozwiązanie, pozwalające osobom spoza branży interpretacji obrazów fotolotniczych, na lepszą percepcję w zakresie rozpoznania obiektów czy form typów pokrycia i użytkowania terenu na zdjęciach lotniczych lub produktach ich przetworzenia (np. ortofotomapach).

W opinii recenzenta, z punktu widzenia spełnienia wymagań co do liczby prac w cyklu składającym się na rozprawę, publikacja nr 1, niekoniecznie musiała być jej częścią, gdyż, jak sama Autorka pisze, nie przyczyniła się ona w zasadzie do wzmocnienia pojemności informacyjnej zdjęć czarno-białych, które w przeszłości często stanowiły jedyny materiał i były z powodzeniem analizowane przez ekspertów. Świadczą o tym liczne publikacje czy książki autorstwa znanych i docenianych naukowców jak np. *Interpretacja zdjęć lotniczych* - autorstwa Ciołkosz A., Miszański J., Olędzki J. (1986).

W pracy nr 2 cyklu (Ewiak I., Siok K. (udział 25%), Schismak A., Jenerowicz A., 2018. *Improvement of interpretability of archival aerial photographs using remote sensing tools* (2018), Proc. SPIE 10789, Image and Signal Processing for Remote Sensing XXIV, 1078925; doi: 10.1117/12.2325813) - autorzy rozwijali wątki badań zrealizowanych podczas tworzenia publikacji nr 1 i stąd być może Doktorantka zdecydowała się na prezentację całej swej ścieżki naukowej, dołączając co do cyklu publikację nr 1. Tym razem do przetworzeń obrazów wykorzystano jednak profesjonalne oprogramowanie teledetekcyjne: ERDAS IMAGINE, ENVI oraz PCI Geomatica.

W przeciwieństwie to programów graficznych wymagających dużo nakładu prac manualnych wykorzystano automatyczne algorytmy kolorowania panchromatycznych czarno-białych obrazów fotolotniczych z wykorzystaniem segmentacji obrazu, klasyfikacji nadzorowanej, pseudo kolorowania i metody tzw. „pan-sharpeningu”. Następowало to na drodze klasyfikacji wybranych typów pokrycia terenu (las, łąka, gleba pozbawiona pokrywy roślinnej, wody, zainwestowane), a w następnym kroku automatycznego nadawania barw zbliżonych do naturalnych (RGB). Przeprowadzona ocena jakości kolorowania wykazała wyniki klasyfikacji na poziomie 15-79% w zależności od klasy pokrycia. Klasy: las, łąka i gleba bez pokrywy roślinnej - klasyfikowane były z dokładnością powyżej 60%, przy czym największym błędem charakteryzowały się obiekty antropogeniczne (zabudowa), co autorzy wiążą też z obecnością cienia. Autorzy niestety nie opisują szczegółowo procesu samej segmentacji obrazu metodą analizy obiektowej (tzw. OBIA w środowisku ENVI), więc nie sposób ocenić czy testowali oni możliwość wykorzystania na przykład obecności cienia jako związku logicznego sąsiedztwa obiektu z wysokim obiektem (np. budynkiem), co mogłoby się przyczynić do poniesienia wyników klasyfikacji typów pokrycia terenu.

Ponownie jak w przypadku publikacji nr 1, o czym piszą sami autorzy w publikacji, badania wykazały dość niską przydatność procesu półautomatycznego kolorowania panchromatycznych materiałów fotolotniczych do procesu klasyfikacji, stąd recenzent

zastanawia się ponownie, czy celowym było włączanie tej publikacji do cyklu, skoro nie umożliwiły one automatycznego zróżnicowania wszystkich typów pokrycia terenu? Jak pisze Doktorantka pokolorowany półautomatycznie obraz nie zawiera rzetelnej informacji o obiektach. Niewątpliwie publikacja ta była jednak ważnym naukowym doświadczeniem Autorki.

Trzecia praca (Siok K. (udział 50%), Jenerowicz A., Woroszkiewicz M., 2017. *Enhancement of spectral quality of archival aerial photographs using satellite imagery for detection of land cover*, Journal of Applied Remote Sensing 11(3), 036001 (2017); doi: 10.1117/1.JRS.11.036001) ze spójnego cyklu publikacji, prezentuje wykorzystanie wielospektralnych zobrazowań satelitarnych Landsat 8 (NASA) w metodzie podwyższenia jakości spektralnej czarno-białych materiałów fotolotniczych. Autorzy pracy zaproponowali metodę symulacji dodatkowych kanałów spektralnych charakteryzujących się wysoką rozdzielczością przestrzenną (GSD 25 cm; DMC II) za pomocą algorytmów wzmocnienia obrazu czyli tzw. „pan-sharpening”. Obrazy lotnicze i satelitarne zarejestrowano zaledwie w przeciągu 4 dni, co stanowiło dobrą podstawę do zastosowania tej metodyki. Autorzy testowali algorytmy dostępne w oprogramowaniu ERDAS, tj.: *Principal Component (PC)*, *Modified Intensity Hue Saturation (mIHS)*, *High Pass Filter (HPF)* oraz *Wavelet-Principal Component Transform (WT-PC)* oraz w oprogramowaniu ENVI, tj.: *Gram-Schmidt* oraz *Brovey*, a także w oprogramowaniu PCI Geomatica, tj: algorytm *Zhang*. Najlepsze rezultaty kolorowania panchromatycznych ortoobrazów lotniczych uzyskano posługując się algorytmami *Brovey* oraz *Modified Intensity Hue Saturation*. Algorytm *Zhang* powodował dystorsję barw a pozostałe efekt rozmazania obrazu (ang. *blurring*). Interpretacja klas pokrycia terenu na pokolorowanych obrazach metodą „pan-shapreningu” była wg autorów skuteczniejsza, szczególnie w przypadku obszarów użytkowanych rolniczo.

Pomimo ciekawego podejścia badawczego, pewne zastrzeżenia recenzenta budzi błąd w schemacie (Fig.1), z którego wynika, iż rozdzielczość kamery DMC II₂₃₀ w kanale PAN jest identyczna z rozdzielczością w kanałach wielospektralnych (RGB NIR) wynosząc 25 cm GSD. Doktorantka w przedłożonym Autoreferacie poprawia ten błąd wskazując na poprawne wartości wynoszące 10 cm GSD dla kanału PAN i 25 cm dla kanałów MS. Niejasne dla recenzenta jest również, dlaczego autorzy użyli modelu DTED-2 z misji SRTM do ortorektyfikacji obrazów satelitarnych Landsat (NASA) w procesie ortorektyfikacji, posiadając dobrej jakości model z pzgik o czym pisze Doktorantka w Autoreferacie (brak tych ważnych wyjaśnień w publikacji). Podobnie recenzent uzyskuje w autoreferacie wyjaśnienie w zakresie uzyskanych dokładności geometrycznej ortoobrazów lotniczych (ortofotografii) oraz ortofotomapy satelitarnej, co ma w końcu zasadniczy wpływ w zakresie poprawności geometrycznej a tym samym procesu tworzenia poprawnych nowych kanałów spektralnych (RGB) i fuzji danych. Trudno jest Recenzentowi dyskutować z przyjętym do druku artykułem, w którym nie znalazł tych informacji, ale zostały one uzupełnione w Przewodniku co zaspokaja jego dociekliwość naukową.

Czwarta praca w cyklu artykułów (Siok K. (udział 70%), Ewiak I., 2020). The simulation approach to the interpretation of archival aerial photographs, *Open Geosciences* 12(1), pp. 1-10; doi: 10.1515/geo-2020-0001) dotyczy oceny wpływu wzrostu jakości spektralnej czarno-białych zdjęć lotniczych na proces interpretacji wybranych klas pokrycia terenu. Autorzy przeprowadzili badania w oparciu o 5 kanałowe zdjęcia lotnicze pozyskane kamerą DMC II₂₃₀ w dniu 20.08.2016 oraz wielospektralne zobrazowania satelitarne zarejestrowane przez sensor MSI satelity Sentinel-2A (ESA) w dniu 28.08.2016. Obrazy satelitarne zarejestrowane kanałach spektralnych RGB (GSD 10m) poddano wzmocnieniu podobnie jak w poprzednio omawianej pracy z wykorzystaniem algorytmu *Brovey*'a. Wyniki przetworzeń poddano analizie przy wykorzystaniu wzrokowej interpretacji (barwy, stopnia jej zróżnicowania w obrębie klasy, artefaktów, stopnia zachowania czytelności szczegółów) oraz wskaźników statystycznej jakości klasyfikacji. Autorzy analizowali możliwości interpretacji wybranych klas pokrycia terenu tj.: las, łąka, łąka koszona, uprawa kukurydzy, ściernisko oraz pole z orką. Stworzenie dodatkowych kanałów RGB o geometrii kanału panchromatycznego zdjęcia lotniczego podniosło możliwości interpretacyjne ale zaledwie o kilka procent (Tab.1), tj. 3-7%. Zauważalnie mniejsze były też błędy przeszacowania i niedoszacowania. Autorzy stwierdzili również występowanie na nowych wzmocnionych obrazach błędów spektralnych wynikających prawdopodobnie z wartości GSD obrazów satelitarnych oraz ich poprawnej ortorektyfikacji (geometrii). W aspekcie prób generowania dodatkowych kanałów RGB dla archiwalnych obrazów satelitarnych przy braku dostępnej powszechnie informacji spektralnej z poziomu satelitarnego (np. dla obrazów z lat 1950-1970), propozycje stosowania współczesnych zobrazowań satelitarnych (niezależnie od rozdzielczości przestrzennej) niosą ze sobą ryzyko odmiennej informacji spektralnej będącej wynikiem zmian środowiskowych (np. efekt suszy, zanieczyszczenia środowiska, zmiany gatunków roślin).

W Autoreferacie Autorka stwierdza, iż w porównaniu do satelitarnych obrazów wielospektralnych nowe, wzmocnione kanałem PAN (o rozdzielczości 30 cm GSD), obrazy dają możliwość rozpoznania wielu detali niewidocznych na oryginalnych kompozycjach danych satelitarnych. Jest to w zasadzie stwierdzenie typu „oczywista oczywistość”, gdyż zamiast 1 piksela Sentinel-2A (ESA) interpretator czy oprogramowanie ma do dyspozycji aż 1.110x (33x 33) więcej pikseli ortobrazu lotniczego (GSD 30 cm). Autorka w artykule nie podaje GSD wynikowej ortofotografii lotniczej a jedynie GSD zdjęcia lotniczego traktując te wartości jako tożsame co nie jest oczywiste bo kanał PAN ma większą rozdzielczość niż MS. W Autoreferacie Doktorantka wyjaśnia jednak, iż otrzymała od wykonawcy zdjęć lotniczych dane charakteryzujące się GSD 30 cm we wszystkich kanałach spektralnych. Podobnie w przypadku dyskusji na temat ograniczeń technicznych zaproponowanej metody słusznie pada stwierdzenie, iż rozdzielczość radiometryczna skanowanych analogowych archiwalnych materiałów fotolotniczych może być znacznie niższa od kanału PAN współczesnych kamer cyfrowych (DMC II₂₃₀; 14 bit na piksel).

W piątym artykule (Siok K. (udział 50%), Jenerowicz A., Ewiak I., 2020). *A simulation approach to the spectral quality of multispectral images enhancement*, (2020), *Computers and Electronics in Agriculture* 174; 105432; doi: 10.1016/j.compag.2020.105432) stanowiącym

cykl publikacji, Doktorantka wraz z innymi autorami podjęła się wzmocnienia spektralnego obrazów VHRS kanałami spektralnymi pochodzącymi z ortofotografii lotniczych wykonanych w oparciu o wysokorozdzielcze wielospektralne zdjęcia lotnicze (GSD 30 cm; kanały MS: RGB; kamera cyfrowa DMC II).

Autorzy publikacji numer 5 cyklu, piszą w jej wstępie, iż kanały PAN oraz zakresy wielospektralne (MS) rejestrowane przez sensor tego samego satelity bywają często niewystarczające w badaniach. Wydaje się to być raczej ich prywatnym dość subiektywnym spostrzeżeniem, niż faktem z przeglądu specjalistycznej literatury, gdyż nie powołują się oni tym miejscu na konkretne prace. Piszą jednak dalej, iż pewne systemy satelitarne nie rejestrują kanału PAN, co jest tylko po części prawdą. Dalej autorzy wykorzystują 8 kanałowe zobrazowanie WorldView-2 (MS; GSD 2.0 m), nie wspominając w zasadzie o dodatkowym (rejestrowanym przez sensor tego samego satelity) kanale PAN (zakres czułości 447÷805 nm; GSD 0.5 m). Może to być w jakiś sposób zrozumiałe, ale tylko w aspekcie chęci użycia do generowania nowych „wzmocnionych kanałów” obrazów o znacznie lepszej rozdzielczości przestrzennej lub o bardziej poprawnej radiometrii. Wpływ kanału PAN, którego zakres wykracza poza zakres kanału RED 630÷690 nm), z pewnością wpływa na właściwości spektralne wzmocnionego spektralnie i przestrzennie obrazu, gdyż odbicie promieniowania EM od zdrowej roślinności w zakresie NIR (691÷805nm; WV2) jest co najmniej 4x wyższe niż w zakresie absorpcji PEM przez chlorofil (m.in. BLUE i RED). Autorzy nie wspominają jednak o obecności kanału PAN WV2 (DigitalGlobe; obecnie MAXAR) i nie wspierają przykładami użycia tego kanału, który jest udostępniany właśnie z myślą o „wyostrzeniu” (pan-sharpening) obrazów MS. Można jedynie przypuszczać, że znane są Autorce konsekwencje poddawania obrazów PAN-sharpened (RGB) algorytmom klasyfikacyjnym pod kątem jakości otrzymywanych wyników. Większość znanych recenzentowi prac stawia w procesie np. GEOBIA na osobne segmentacje i klasyfikacje oryginalnych kanałów spektralnych oraz osobną segmentację (filtracja, detekcja krawędzi etc.) kanału PAN cechującego się wyższą rozdzielczością, jednak rejestrowanym często w zbyt szerokim zakresie spektralnym (400÷900 nm).

W pracy badano wpływ poszczególnych oryginalnych zakresów spektralnych (RGB) materiałów fotolotniczych oraz nowych symulowanych na ich podstawie kanałów PAN na jakość spektralną obrazu wzmocnionego. Zaproponowano dwa warianty symulowanego kanału PAN (wzór 1; PAN_{MEAN} – średnia arytmetyczna wartości RGB oraz wzór 2 – PAN_{NTSC} bazujący na wagowaniu kanałów zgodnie ze standardem NTSC) w celu wygenerowania wzmocnionych ortoobrazów wielospektralnych WorldView-2 (GSD 2.0 m; DigitalGlobe).

Doktorantka na stronie 31 Autoreferatu stwierdza, iż celem pracy *„było podwyższenie jakości spektralnej wielospektralnych obrazów lotniczych wykorzystując potencjał satelitarnych zobrazowań wielospektralnych. W ramach podjętych badań opracowałam metodę umożliwiającą wzbogacenie zdjęć lotniczych o informacje spektralne z innych zakresów promieniowania EM i minimalizację zniekształceń tych informacji w procesie integracji danych lotniczych i satelitarnych.”* Zdaniem recenzenta jest to wciąż niejasność lub techniczna omyłka,

bo artykuł wszak dotyczy wzmacniania spektralnego ale i po części rozdzielczości przestrzennej kanałów MS rejestrowanych przez sensor satelity WorldView-2 z wykorzystaniem kanałów ortobrazów lotniczych (GSD 30,0 cm) pochodzących z kamery DMC II 230. Recenzent bardzo prosi podczas obrony pracy o potwierdzenie czy to oczywista omyłka drukarska czy recenzent źle rozumie Autoreferat w stosunku do oryginalnej publikacji w języku angielskim.

W przypadku obrazów WV-2 (DG; MAXAR), różnica wartości rozdzielczości przestrzennej kanału PAN nie jest jakaś znacząca, gdyż zamiast 50 cm GSD oryginalnego obrazu WV-2 (DigitalGlobe/Maxar), autorzy proponują użycie 30 cm GSD obrazu będącego syntetycznym obrazem (wzór 1 i 2) lub kanałów RGB NIR z lotniczej kamery cyfrowej. Recenzent chciałby zadać w tym miejscu pytanie: dlaczego nie zdecydowano się na wykorzystanie kanału PAN z kamery cyfrowej DMC II₂₃₀, która oferuje bardzo wysokiej rozdzielczości obraz PAN (GSD 10 cm jak pisze doktorantka wcześniej w Autoreferacie). Czy istniał jakiś problem techniczny z dostępem do oryginalnych kanałów PAN zdjęć przed procesem ich łączenia z RGBNIR? W sytuacji gdyby taki dostęp jednak był możliwy, to należałoby poddać dyskusji cel symulowania kanału PAN. Współczesne kamery cyfrowe są z reguły 1+4=5 kanałowe. Co prawda autorzy omawianego artykułu piszą w rozdziale 4. *Experiments*, iż zakładają brak kanału PAN i to po części tłumaczy dociekliwość Recenzenta. Niejasność jednak utrzymuje fakt pojawienia się opisu PAN_{ORYG} dla celów generowania obrazu EI_{ORYG}), iż stosowano „*aerial PAN band with 0.30 m resolution PAN_{ORYG}...*”. Nie jest więc całkowicie jasne dla Recenzenta stwierdzenie, czy Doktorantka dokonała „również fuzji oryginalnego Panchromatycznego obrazu lotniczego z zobrazowaniem satelitarnym dla celów porównawczych”? Recenzent nie znajduje tego kanału PAN (lub PAN_{ORYG}) na schemacie Fig.1 załączonego do rozprawy doktorskiej artykułu [5]. Bardzo proszę więc o wyjaśnienie podczas obrony pracy czy na pewno mowa jest o kanale PAN z kamery DMCII₂₃₀? Na marginesie dyskusji, od 2 lat firma MAXAR, dostawca obrazów VHRS (m.in. WV-2) oferuje „wyostrzenie” kanałów MS z oferowanych wcześniej 31 cm GSD do 15 cm GSD, stosując zaawansowane metody analizy obrazu polegające na inteligentnym próbkowaniu i filtracji (np. wykrywaniu krawędzi) z wykorzystaniem algorytmów sztucznej inteligencji.

Praca numer 5 cyklu nie zmierza jednak do przedstawienia metod polegających na wykorzystaniu lepszej geometrii (np. w wyniku działania filtrów krawędziowych) do zwiększenia poprawności detekcji czy klasyfikacji z użyciem kanału PAN w lepszej segmentacji (np. GEOBIA), a skupia się w zasadzie na testowaniu statystycznym poprawności radiometrii i zachowania lub wzmocnienia pewnych cech teksturalnych służących manualnej lub półautomatycznej klasyfikacji klas pokrycia terenu.

Publikacja w dalszym swym przebiegu analizuje krzywe spektrostrefowe analizowanych klas pokrycia terenu, pod kątem zależności pomiędzy klasą LULC a stopniem zachowania właściwości spektralnych zachodzących w procesie fuzji obrazów.

Bardzo rozbudowanym rozdziałem jest 4.1. *Ogólna ocena statystyczna jakości spektralnej obrazów* oparta na wskaźnikach: Universal Image Quality Index (UIQI), Peak Signal To Noise Ratio Index (PSNR), Correlation Coefficient (CC), Relative Dimensionless Global Error (ERGAS) oraz Structural Similarity (SSIM) index. Autorzy dodatkowo przeprowadzili w terenie pomiary właściwości spektralnych obiektów z użyciem spektrometrii FieldSpec 4 WideRes (ASD), choć nie podano konkretnych danych terenowych, co w przypadku fenologii roślin może mieć duże znaczenie. Autorzy wykazali w pracy najniższe dystorsje spektralne dla klas naturalnego pokrycia terenu w przypadku stosowania kanału GREEN (DMC II) do wzmocnienia obrazów MS satelity WV-2 (DG/MAXAR). Co ciekawe dla zakresów podczerwonych (NIR1 i NIR2) otrzymali najlepsze rezultaty z wykorzystaniem kanału BLUE (DMC II₂₃₀). Możliwość stworzenia mniej zaburzonych spektralnych obrazów po fuzji danych przyczynia się oczywiście do poprawniejszej detekcji obiektów i ich klasyfikacji. Autorzy w konkluzjach zwracają uwagę, iż m.in. w zakresie rolnictwa precyzyjnego wzmocnienie spektralne (wg recenzenta również rozdzielczości przestrzennej) obrazów satelitarnych materiałami fotolotniczymi może się przyczynić do wzrostu produkcji rolnej i oszczędności nawozów i środków ochrony roślin. Recenzent całkowicie zgadza się z Doktorantką, iż gromadzenie wszelkich danych referencyjnych o zbliżonych właściwościach spektralnych pozwala na uzyskanie lepszych modeli predykcyjnych w uczeniu maszynowym np. określania wysokości plonu czy występujących zagrożeń dla upraw. Wyniki klasyfikacji przedstawione przez autorów w tabeli 14 dla uzyskane dla 3 zestawów danych (Data Set 1: pełen zestaw 8 kanałów; Data Set 2 - 6 kanałów bez kanału Coastal i NIR2; Data Set 3 – RGB NIR1) w zasadzie nie są zbyt zróżnicowane, choć przedstawiają zaskakujące wysokie wyniki działań algorytmów sieci neuronowych (OA 95%; Kappa 0.9). Testowanie dodatkowych syntezyzowanych kanałów spektralnych może w przyszłości przynieść wiele ciekawych rozwiązań, co trzeba jednak dowieść empirycznie dla konkretnych klas LULC.

W ostatnim artykule nr 6 (Siok K. (udział 60%), Ewiak I., Jenerowicz A., 2020. *Multisensor Fusion: A simulation approach to pansharpening aerial and satellite images*, Sensors 2020, 20(24), 100; doi: 10.3390/s20247100) kończącym cykl, autorzy zaprezentowali metodę symulacji nowych kanałów o wysokiej rozdzielczości przestrzennej na podstawie cyfrowych zdjęć lotniczych (DMC II₂₃₀). Była ona oparta na funkcji regresji występującej pomiędzy wartościami kanałów MS oraz PAN rejestrowanych przez cyfrową kamerę lotniczą. Autorzy skupili się na zbadaniu efektu fuzji danych na jakość spektralną ortoobrazów powstających po połączeniu danych. Opublikowana praca prezentuje wykorzystanie zależności PAN/kanał MS kamery cyfrowej w 3 analizowanych wariantach (wzory 1-3) w badaniach detekcji trzech bardzo uogólnionych klas pokrycia terenu, tj.: lasu, skoszonej łąki i odkrytej gleby. Niestety autorzy w publikacji nie definiują szczegółowo ani typu lasu (np. iglasty / liściasty / mieszany) ani gatunku dominującego (np. sosna zwyczajna) ani zwarcia czy klasy wieku, co może mieć zasadnicze znaczenie w poprawności detekcji i klasyfikacji obiektu np. w okresie innym niż termin badań (28.08.2016) ze względu na różnice fenologiczne.

Również w opinii recenzenta brakuje w tym miejscu trochę szczegółów w opisie dotyczącym łąki skoszonej. Nie wskazano w artykule precyzyjnych dat jej skoszenia, czy występuje na niej jeszcze wyschnięta biomasa czy też zaczyna się ponowny wzrost roślinności zielnej a są to kluczowe elementy poprawnej klasyfikacji. Odkryta gleba może mieć bardzo szerokie spektrum wilgotności oraz zawartości części organicznych co skutkuje innymi cechami odbicia spektralnego. W przedstawionym Autoreferacie Doktorantka szczęśliwie jednak uzupełnia dociekliwość Recenzenta o informacje (liczne wykresy i tabele), których nie znalazł on w publikacji a wydają mu się one ważne. W okresie wiosennych kampanii fotolotniczych Doktorantka analizowała 2 klasy LULC tj.; Las iglasty oraz pole oziminy, natomiast w okresie letniego pozyskania zdjęć aż 8 klas LULC, tj.: las iglasty, las liściasty, kukurydzę, łąkę, łąkę skoszoną (bez biomasy), rżysko, zaorane pole uprane oraz zabronowane pole orne.

Dla każdej klasy pokrycia terenu generowano nowe obrazy w 3 wariantach, tj. poprzez sumowanie trzech składowych zależności PAN/MS (wzór 4), drugi na ich uśrednieniu (wzór 5) a w trzeci wykorzystywał ich wagowanie (wzór 6). Fuzję danych przeprowadzono metodą Gram-Schmidta. Oceny jakości obrazów wzmocnionych dokonano podobnie jak w poprzedniej pracy cyklu. Analiza statystyczna dla każdej klasy pokrycia terenu badano wskaźnikami: Universal Image Quality Index (UIQI), Peak Signal To Noise Ratio Index (PSNR), Correlation Coefficient (CC), Structural Similarity (SSIM) index oraz Spectral Angle Mapper (SAM) dla porównania charakterystyk spektralnych klas pokrycia na obrazach wzmocnionych S-2 oraz oryginalnych kanałach S-2 (ESA). Przeprowadzono też analizę entropii Shannona w celu określenia zawartości informacyjnej obrazów.

Jak pisze Doktorantka, w artykule autorzy dowiedli dla każdej z 3 analizowanych klas LULC, iż proces fuzji symulowanych wysokorozdzielczych obrazów lub dobranego oryginalnego kanału MS obrazu fotolotniczego umożliwia generowanie obrazu wzmocnionego o niższej dystorsji spektralnej niż w przypadku stosowania oryginalnego kanału PAN (450-690 nm) z kamery lotniczej DMCII. W przypadku klasy „LAS” wzrost jakości spektralnej był jednak w zasadzie minimalny, natomiast dla klas „skoszona łąka” oraz „odkryta gleba” stwierdzono przyrost dostępnej informacji spektralnej. Autorzy przyznają, że nie wskazano metody symulacji nowego kanału z obrazów fotolotniczych czy doboru istniejącego kanału, który byłby uniwersalny dla wszystkich analizowanych klas.

Podsumowując artykuł nr 6 (wg recenzenta najlepiej dopracowany z całego cyklu), stanowiący w autoreferacie w zasadzie cały rozdział 3.5 o nazwie „*Metoda symulacji nowych kanałów wysokorozdzielczych w aspekcie zwiększenia jakości spektralnej obrazów lotniczych*” recenzent stwierdza, że nie koresponduje on w zasadzie z oryginalnym artykułem. Wszak chodziło w nim (wg recenzenta), o wzmocnienie spektralne obrazów satelitarnych Sentinel-2 (ESA) nowymi symulowanymi kanałami PAN z kamery cyfrowej w oparciu o związki pomiędzy kanałem oryginalnym PAN DMCII₂₃₀ a kanałami MS. Niedoprecyzowany tytuł rozdziału sugeruje wzmacnianie cyfrowych obrazów lotniczych pochodnymi danymi, co nie było w zasadzie testowane a wyniki nie zostały podane. Mylące dla recenzenta jest stwierdzenie

Doktorantki w Autoreferacie na stronie 42, gdzie stwierdza ona, iż „zaprezentowałam autorską metodę symulacji kanałów o wysokiej rozdzielczości przestrzennej **dla zdjęć lotniczych** opartą na wyznaczonych zależnościach funkcyjnych między kanałami lotniczymi”. Czy zdanie to nie powinno raczej brzmieć: „zaprezentowałam autorską metodę symulacji kanałów o wysokiej rozdzielczości przestrzennej opartą na wyznaczonych zależnościach funkcyjnych między kanałami obrazowań lotniczych **dla celów wzmocnienia spektralnego obrazowań satelitarnych**”? Dodatkowo na stronie 55 autoreferatu pojawia się zapis „Opracowana metoda umożliwia podwyższenie jakości spektralnej zdjęć lotniczych”. W rozumieniu recenzenta lepsza jakość (nie ilościowość) powinna być udowodniona np. lepszymi wynikami klasyfikacji ortoobrazów lotniczych. Generowanie nowych obrazów jako pochodnych kanałów RGB w sytuacji dostępności kanału NIR dla zwiększenia jakości interpretacji, detekcji czy klasyfikacji nie wydaje się być aż tak aplikacyjne. Oczywiście, bezsprzecznie Autorzy zwiększali rozdzielczość spektralną zdjęć lotniczych czyli liczbę kanałów spektralnych poprzez syntezę nowych kanałów PAN (jako funkcji z kanałami RGB) ale czy to pociąga za sobą od razu **podwyższenie jakości spektralnej**? To otwarte pytanie Recenzent zadał już na początku swej recenzji. Tą hipotezę należałoby raczej dowieść analizami na samych ortoobrazach lotniczych. Jeśli recenzent nie zrozumiał jednak w pełni przesłania Autorów pracy to prosi Doktorantkę o naprowadzenie go na właściwy cel podczas obrony.

Uwagi szczegółowe do dysertacji

Wszystkie sześć, przedłożonych jako spójny cykl prac, przeszło przez wymagające etapy recenzji czasopism naukowych, stąd recenzent nie będzie się już odnosił do ich treści pod kątem naukowym i edycyjnym a jedynie wyraził powyżej swą opinię odnosząc się do omawianego go Autoreferatu w nowej zmienionej i uzupełnionej formie stanowiącego integralną część Rozprawy doktorskiej.

Artykuły budujące cykl, choć mogły wg. recenzenta śmiało być ograniczone np. do 4 ostatnich, stanowią pewną logiczną ścieżkę badawczą, w której aktywnie uczestniczyła Autorka dysertacji, kierując co najmniej 4 z 6 prac, co wynika też z podanych udziałów autorskich. Choć recenzent widzi wiele ciekawych naukowych pomysłów w przedstawionych metodykach analiz obrazu i ma duże uznanie dla sukcesu przyjęcia większości z nich do druku w czasopismach zagranicznych, to jednak brakuje mu trochę szerszego przetestowania tych metod na większej próbie danych czy też sformułowania bardziej odważnych wniosków. Trudność polegała na tym, iż nie da się już zmienić brzmienia opublikowanych prac ale szczęśliwie Autoreferat w nowej formie wyjaśnij wiele pytań, choć nie wszystkie.

We wszystkich pracach konkluzje często mieszają się z wynikami i częściowo z dyskusją wyników a nawet wprowadzeniem, a przecież czytelnik oczekuje na końcu zawsze zdecydowanej konkluzji. Niewątpliwie najlepiej prezentowany jest w artykułach warsztat testów jakości spektralnej (wskaźniki) niż same konkluzje w zakresie do stawianych hipotez badawczych.

Czytając dysertację, czasem można uznać, że jesteśmy ograniczeni do analiz bardzo podobnych klas pokrycia terenu i to w tej samej przestrzeni geograficznej i tym samym czasie. Gdyby Autorka zaprezentowała wyniki działania algorytmów na innych zestawach danych niewątpliwie podniosło by to zdecydowanie walor ich pracy. Zakładam, że stanie się to w dalszej pracy naukowej Doktorantki. Sam pomysł powiększania pojemności informacyjnej archiwalnych materiałów teledetekcyjnych jest bardzo ciekawy i aż prosi się o jakąś demonstrację wdrożenia umożliwiającą np. stworzenie zasobu archiwalnych panchromatycznych obrazów (np. pZgik; GUGiK) wzmocnionych dodatkowymi kanałami spektralnymi dla potrzeb budowania rolnictwa precyzyjnego czy określania trendów w przemianach stanu zdrowotnego lasów.

Zgłoszone przez Recenzenta uwagi mają po części charakter edytorski czy stylistyczny nie wpływając znacząco na samą ogólną ocenę naukową dysertacji. Część z uwag wymaga jednak udzielenia odpowiedzi na etapie obrony pracy, co zostało wyraźnie zaznaczone przy komentowaniu poszczególnych publikacji z przedstawionego cyklu.

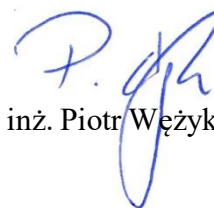
Konkluzja

Po przestudiowaniu poszerzonego Autoreferatu oraz dołączonych do dysertacji sześciu publikacji a także pomimo szeregu moich uwag krytycznych, stwierdzam, że wkład Doktorantki do nauk związanych z szeroką pojętą teledetekcją lotniczą i satelitarną, a w szczególności – *do cyfrowej analizy obrazów pozyskiwanych zdalnie - w aspekcie zwiększania ich pojemności informacyjnej poprzez generowanie nowych syntetycznych kanałów wielospektralnych dla archiwalnych lotniczych obrazów PAN czy też wzmacniania jakości i pojemności informacyjnej kanałów MS zobrazowań satelitarnych - jest znaczący.*

W opublikowanych pracach naukowych stanowiących cykl, przeprowadzono wiele skrupulatnych testów statystycznych nad charakterystyką spektralną i przestrzenną nowych wzmacnianych ortoobrazów, co może przyczynić się w przyszłości do wykorzystania tej wiedzy w zakresie automatyzacji procesu klasyfikacji obrazów pozyskiwanych zdalnie (poziom BSP, lotniczy czy satelitarny).

Przedstawiona rozprawa składająca się z 6 publikacji oraz Autoreferatu zawiera po części oryginalne rozwiązania istotnego problemu zwiększania pojemności informacyjnej obrazów teledetekcyjnych zarówno współcześnie rejestrowanych jak i, a może przede wszystkim archiwalnych materiałów fotolotniczych. Wątpliwości recenzenta nie budzi wiedza Doktorantki z zakresu przetwarzania obrazów teledetekcyjnych w dyscyplinie **Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport**, szczególnie w aspekcie wzmacniania pojemności informacyjnej archiwalnych panchromatycznych materiałów fotolotniczych oraz testowania jakości spektralnej zobrazowań satelitarnych.

Tym samym stwierdzam, iż recenzowana przeze mnie rozprawa doktorska Pani mgr inż. **Katarzyny Siok**, przygotowana pod opieką promotora - **Pana dr hab. inż. Ireneusza Ewiaka, prof. WAT**, spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim przez artykuł 13. Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (tekst ujednolicony w Dzienniku Ustaw z 2017 r., pozycja nr 1789) oraz artykuł 1. Ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające Ustawę Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dziennik Ustaw z 2018 r. pozycja nr 166) - w związku z czym **wniosuję do Rady Dyscypliny Naukowej: Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Wojskowej Akademii Technicznej - o dopuszczenie jej Autorki do dalszych etapów przewodu doktorskiego.**



dr hab. inż. Piotr Wężyk, prof. URK