

Warszawa, 17 lipca 2023

Dr hab. inż. Stanisław Lewiński, prof. CBK PAN  
Zakład Obserwacji Ziemi  
Centrum Badań Kosmicznych PAN  
ul. Bartycka 18A  
00-716 Warszawa

### **Recenzja uzupełnionej rozprawy doktorskiej**

mgr inż. Katarzyny Siok

nt. „Symulacja dodatkowych kanałów dla zdjęć lotniczych w aspekcie podwyższenia ich jakości spektralnej”

Promotor: dr hab. inż. Ireneusz Ewiak, prof. WAT

#### **1. Podstawa wykonania recenzji.**

Podstawą formalno-prawną wykonania recenzji pracy doktorskiej mgr Katarzyny Siok jest Uchwała Rady Dyscypliny Naukowej "Inżynieria Lądowa i Transport" nr 32/RDN/ILiT/2021 z 14 września 2021 r. w sprawie wyznaczenia recenzentów rozprawy doktorskiej mgr inż. Katarzyny Siok.

W recenzji przygotowanej w dniu 22 listopada 2021, stosownie do Rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018, zawnioskowałem o uzupełnienie rozprawy. Miało to polegać na:

- zdefiniowaniu zasad postępowania w fuzji zdjęć lotniczych z danymi satelitarnymi stosownie do tezy rozprawy,
- przeprowadzenie fuzji zgodnie z tymi zasadami na reprezentatywnym przykładzie danych lotniczych i satelitarnych,
- wykonanie oceny uzyskanych wyników.

26 maja 2023 otrzymałem uzupełnioną rozprawę do ponownej recenzji.

#### **2. Ogólna charakterystyka rozprawy.**

Rozprawa doktorska pani mgr Katarzyny Siok została przygotowana pod opieką naukową dr hab. inż. Ireneusza Ewiaka, profesora Wojskowej Akademii Technicznej.

Rozprawa doktorska jest cyklem sześciu publikacji:

1. Ewiak I., Siok K. (60%), Jenerowicz A. , Functionality assessment of algorithms for the coloring of images in terms of increasing radiometric values of aerial photographs archives (2016), *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, vol. 28, pp. 11-24; doi: 10.14681/afkit.2016.001.  
*Liczba punktów według wykazu czasopism MNIŚW z dnia 9 grudnia 2016 roku: 7 pkt. (część B wykazu czasopism naukowych).*
2. Ewiak I., Siok K. (25%), Schismak A. , Jenerowicz A. , Improvement of interpretability of archival aerial photographs using remote sensing tools (2018), *Proc. SPIE 10789, Image and Signal Processing for Remote Sensing XXIV*, 1078925 (9 October 2018); doi: 10.1117/12.2325813.

*Recenzowane materiały z konferencji międzynarodowej SPIE Remote Sensing indeksowane w bazie Web of Science: 15 pkt.*

3. Siok K. (50%), Jenerowicz A., Woroszkiewicz M., Enhancement of spectral quality of archival aerial photographs using satellite imagery for detection of land cover (2017), Journal of Applied Remote Sensing 11(3), 036001 (2017); doi: 10.1117/1.JRS.11.036001.

*Liczba punktów według wykazu czasopism MNiSW z dnia 9 grudnia 2016 roku: 20 pkt. (część A wykazu czasopism naukowych).*

4. Siok K. (70%), Ewiak I., The simulation approach to the interpretation of archival aerial photographs (2020), Open Geosciences 12(1), pp. 1-10; doi: 10.1515/geo-2020-0001:

*Liczba punktów według wykazu czasopism MNiSW z dnia 31 lipca 2019 roku : 40 pkt.*

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

*Liczba punktów według wykazu czasopism MNiSW z dnia 31 lipca 2019 roku: 100 pkt.*

6. Siok K. (60%), Ewiak I., Jenerowicz A., Multisensor Fusion: A simulation approach to pansharpening aerial and satellite images (2020), Sensors 2020, 20(24), 7100; doi: 10.3390/00247100.

*Liczba punktów według wykazu czasopism MNiSW z dnia 31 lipca 2019 roku: 100 pkt.*

Zadeklarowany udział doktorantki w przygotowaniu wymienionych prac wynosi odpowiednio: 60%, 25%, 50%, 70%, 50% i 60%. Na podstawie oświadczeń autorów we wszystkich przypadkach wkład pani mgr Katarzyny Siok był znaczący.

Pod względem punktacji, która odzwierciedla wagę miejsca publikacji, artykuły są zróżnicowane. Stosownie do listy czasopism Ministerstwa Edukacji i Nauki punktacja w roku publikacji wynosiła odpowiednio 7, 15, 20, 40, 100, 100 punktów. Dwie ostatnie prace cyklu opublikowane w roku 2020 są znacząco wyżej punktowane. W obu przypadkach mgr Katarzyna Siok jest pierwszym autorem, definiowała założenia badawcze, przetwarzała dane, wykonywała analizy oraz formułowała wnioski.

Cykl artykułów poprzedzony jest tzw. przewodnikiem, w którym zdefiniowany jest cel podjętych badań, uzasadnienie wyboru publikacji składających się na rozprawę doktorską, wskazane są najważniejsze wyniki oraz podsumowanie całości. Do przewodnika dołączone są oryginalne teksty artykułów oraz wymagane oświadczenia współautorów.

Doktorantka przedstawia cel podjętych badań w pierwszym rozdziale przewodnika. Charakteryzuje wybrane aspekty możliwości wykorzystania zdjęć lotniczych w badaniach środowiskowych. Podkreśla znaczenie rozdzielczości przestrzennej oraz spektralnej w interpretacji i klasyfikacji danych obrazowych. Definiuje tezę badawczą: "Zastosowanie syntetycznych kanałów dla zdjęć lotniczych wpływa na podwyższenie ich jakości spektralnej".

Sześć publikacji składających się na rozprawę doktorską, zostało przyporządkowanych do pięciu kolejnych etapów prowadzonych prac badawczych zdefiniowanych przez Doktorantkę:

Etap I: opracowanie metody nadania barw tzw. „kolorowania” panchromatycznych obrazów lotniczych z wykorzystaniem istniejących algorytmów przetwarzania obrazów cyfrowych.

Etap II: opracowanie metody podwyższenia jakości spektralnej panchromatycznych zdjęć lotniczych, dla których nie istnieją lotnicze wielospektralne dane obrazowe pozyskane w zbliżonym czasie i dla tego samego terenu.

Etap III: ocena możliwości interpretacyjnych obrazów barwnych uzyskanych z zastosowaniem autorskiej metody wzmocnienia obrazów panchromatycznych o dodatkową informację spektralną.

Etap IV: przeprowadzenie badań, których celem było wygenerowanie nowych syntetycznych obrazów dla wielospektralnych zdjęć lotniczych.

Etap V: opracowanie metody symulacji nowych kanałów dla obrazów lotniczych uwzględniającej zróżnicowanie obrazowanego terenu pod kątem występujących typów pokrycia terenu.

### **Ocena istotności podjętego tematu badawczego.**

Poprawa możliwości interpretacyjnych, a tym bardziej klasyfikacyjnych zdjęć lotniczych jest tematem istotnym zarówno ze względu na stosowane metody analizy danych obrazowych jak również pod względem praktycznego wykorzystania wyników.

Doktorantka przyjęła założenie, w myśl którego zdjęcie lotnicze zostaje wzbogacone o nowe kanały spektralne, które powstają w wyniku fuzji z danymi wielospektralnymi o niższej rozdzielczości. Z punktu widzenia wykorzystanych metod przetwarzania obrazów satelitarnych, sposób realizacji podjętego tematu wpisuje się w tematykę wzmacniania obrazu metodami tzw. pan-sharpeningu.

### **Uzupełnienia wprowadzone do rozprawy.**

Uzupełnienia, o które wniosowałem kierując rozprawę do poprawy zostały wprowadzone do tekstu przewodnika rozprawy. Doktorantka wprowadziła uzupełnienia nie przez dodanie nowego rozdziału, ale zmieniając duże fragmenty tekstu, zachowując równocześnie pierwotną strukturę całości. Oceny publikacji jest tożsama z pierwszą recenzją.

### **Ocena merytoryczna rozprawy.**

Poszczególne etapy pracy są opisane w rozdziale 3 Przewodnika. W kolejnych podrozdziałach przedstawione są wyniki opublikowanych prac badawczych oraz dodatkowe komentarze i uzupełnienia.

#### *Etap I. Nadanie barw panchromatycznym zdjęciom lotniczym (rozdział 3.1 Przewodnika)*

W ramach pierwszego etapu badań zostały przedstawione metody mające na celu uzyskanie obrazu barwnego na podstawie zdjęcia monochromatycznego, którym jest skan archiwalnego zdjęcia lotniczego. W ramach publikacji 1 został wykonany przegląd dostępnych algorytmów wykorzystywanych do tzw. „kolorowania”. Wykonano porównanie możliwości praktycznego ich zastosowania w interpretacji zdjęć lotniczych. Polegało to na podziale treści zdjęcia na 4 podstawowe klasy pokrycia terenu (lasy, niska roślinność, powierzchnie bez pokrywy roślinnej, obiekty antropogeniczne), a następnie na ich „pokolorowaniu”. Ocenę uzyskanych wyników porównano z interpretacją wizualną wykonaną na podstawie 20 punktów zdefiniowanych dla każdej z klas. Praca ma bardziej charakter porównawczo-przeładowy.

Własne podejście do zagadnienia „kolorowania” archiwalnych zdjęć lotniczych przedstawione jest w publikacji 2. Polega ono na rozpoznaniu na podstawie zdjęcia panchromatycznego, stosując metody obiektowe, pięciu klas pokrycia terenu: lasy, pastwiska, gleba bez pokrywy roślinnej, woda, budynki. Następnie barwny obraz klasyfikacyjny jest łączony z obrazem panchromatycznym metodą Gram-Schmidt i walidowany. Analizy przeprowadzono na podstawie 11 zdjęć lotniczych zarejestrowanych w okresie letnim obrazujące wybrane fragmenty powiatu Warszawskiego Zachodniego.

„Kolorowanie” wykonano na podstawie pięciu klas tematycznych. Z opisu w przewodniku wynika, że zostało wykonanych wiele prób klasyfikacyjnych zdjęcia panchromatycznego, których celem było uzyskanie większej liczby klas. Jednak okazało się to niemożliwe. Ograniczona liczba klas w sposób bezpośredni wpływa na wynik „kolorowania” i może powodować późniejsze błędy interpretacyjne.

Doświadczony interpretator mając do wyboru tak opracowany obraz oraz oryginalny obraz panchromatyczny najprawdopodobniej wykorzysta ten drugi.

Publikacje 1 i 2 nie stanowią silnych punktów cyklu, ale są powiązane z kolejnymi publikacjami. Doktorantka słusznie sygnalizuje potrzebę innego podejścia do zagadnienia nadawania barwy lotniczym obrazom panchromatycznym.

#### *Etap II. Metoda podwyższenia jakości spektralnej panchromatycznych zdjęć lotniczych (rozdział 3.2 Przewodnika)*

W publikacji 3 „Enhancement of spectral quality of archival aerial photographs using satellite imagery for detection of land cover” przedstawiono wyniki analizy porównawczej pięciu metod pan-sharpeningu (PC, mIHS, HPF, Ehler, WT-PC, Gram-Schmidt, Brovey) dostępnych w oprogramowaniu ERDAS oraz ENVI. Stosując je została wykonana fuzja danych panchromatycznych zarejestrowanych kamerą cyfrową DMC II 230 oraz zdjęć satelitarnych Landsat. Ocenę jakości połączonych danych wykonano wizualnie oraz stosując miary statystyczne. W przewodniku podana została tabela obrazująca parametry spektralne łączonych danych co stanowi istotne uzupełnienie publikacji.

Przeprowadzone porównania pozwoliły na wytypowanie algorytmów Brovey i mIHS jako najlepszych. Doktorantka zaproponowała metodę postępowania, którą można określić jako odwrotność klasycznego procesu pan-sharpeningu. Wynikiem jej jest generowanie nowych kanałów o wysokiej rozdzielczości przestrzennej, o zdecydowanie większym potencjale interpretacyjnym w porównaniu z danymi wejściowymi. Podano, że zaproponowane podejście sprawdza się również w przypadku skanowanych analogowych zdjęć lotniczych. Doktorantka zwraca uwagę na ograniczenie, którym jest zgodność terminów rejestracji przetwarzanych danych. Zastosowane metody resamplingu wynikają z przeprowadzonego przeglądu literatury. Wykonane zostały również próby odtworzenia informacji z zakresu podczerwieni.

#### *Etap III. Ocena wpływu wzrostu jakości spektralnej panchromatycznych zdjęć lotniczych na fotointerpretację pokrycia terenu (rozdział 3.3 Przewodnika).*

Tematem publikacji 4 „The simulation approach to the interpretation of archival aerial photographs” jest fuzja danych panchromatycznych zarejestrowanych kamerą DMC II 230 ze zdjęciem satelitarnym Sentinel-2. Zastosowano metodę Brovey, a ocenę wykonano wizualnie, analizując sześć form pokrycia terenu: lasy, łąki, łąki koszone, kukurydza, ściernisko, zaorane pole. Dla każdej klasy zdefiniowano około 500 punktów na podstawie, których przeprowadzono porównanie obrazu RGB uzyskanego po fuzji z obrazem RGB kamery DMC II 230. Wnioski wynikające z przeprowadzonych prac interpretacyjnych są typowe dla algorytmów typu pan-sharpening. Autorzy przyznają, że są to wstępne wyniki analiz. Pod koniec artykułu jest nawiązanie do tytułu, w którym są wymienione archiwalne zdjęcia lotnicze. Zamieszczono ilustrację fuzji archiwalnego zdjęcia lotniczego ze zdjęciem Landsat 5.

W przewodniku podano uzupełnienia artykułu w postaci tabeli z zakresami spektralnymi łączonych danych, informację o sposobie przeprowadzenia resamplingu oraz o zastosowaniu korekcji atmosferycznej zdjęcia Sentinel-2. Dodatkowo przedstawiono również obszernie omówienie uzyskanych wyników, porównując dane wejściowe z wynikowymi.

Doktorantka podkreśliła przewagę stosowanego podejścia opartego na metodzie Brovey, nad kolorowaniem zdjęć panchromatycznych przedstawionym w pierwszym etapie prac.

*Etap IV. Metoda podwyższenia jakości spektralnej wielospektralnych zdjęć lotniczych (rozdział 3.4 Przewodnika)*

W publikacji 5 cyklu „A simulation approach to the spectral quality of multispectral images enhancement”, przedstawiona jest fuzja danych satelitarnych WorldView-2 (WV-2) oraz lotniczych DMC II 230, wykonana metodą Gram-Schmid. Przedstawiono wyniki szeregu testów polegających na zastąpieniu w fuzji, kanału PAN danymi wygenerowanymi na podstawie innych zakresów spektralnych. W tym celu wykonano przekształcenia kanałów R, G i B oparte na średniej arytmetycznej i sumie ważonej. Dodatkowo w fuzji pod kanał PAN podstawione zostały pojedyncze kanały R, G, B i NIR zdjęć lotniczych. Zgodność spektralna między danymi wejściowymi i wynikowymi została sprawdzona z wykorzystaniem formuł zdefiniowanych przez Wald'a i in. (1997).

Na podstawie oryginalnych danych wielospektralnych WV-2 oraz po ich fuzji z poszczególnymi kanałami zdjęcia lotniczego (5 kanałów) i z kanałami PAN uzyskanymi w wyniku symulacji (2 kanały) wykonano klasyfikację pokrycia terenu. Dla każdej grupy utworzono zestawy danych: wszystkie osiem kanałów WV-2 przed i po fuzji, 6 kanałów (zestaw bez kanałów Costal Blue i NIR2), 4 kanały (zestaw bez kanałów Blue, Green, Red, NIR 2). W sumie wykonano 24 klasyfikacje z zastosowaniem podejścia nadzorowanego algorytmem sieci neuronowych. Podjęto próbę rozpoznania 9 klas pokrycia terenu: drzewa, woda, drogi, dwa rodzaje powierzchni bez pokrywy roślinnej oraz trzy typy zabudowy. W przewodniku wyjaśniono zróżnicowanie klasy „bare soil” podzielonej na dwie podklasy oraz trzech podklas „buildings”. Podano również przykłady macierzy błędów opracowanych dla klasyfikowanych zestawów danych.

W tabeli 14, publikacji 5 cyklu, zamieszczono wyniki wszystkich klasyfikacji, podano wartości dokładności całkowitej oraz współczynnika Kappa. Najlepsze wyniki uzyskano na podstawie pełnego zestawu oryginalnych kanałów WV-2. Uzyskane wartości, mimo istotnych różnic w danych wejściowych, są na bardzo zbliżonym poziomie w zakresie 95.9% - 93%. Oznacza to, że przeprowadzona fuzja danych nie spowodowała istotnych różnic w klasyfikacji. Nieznacznie wyższy wynik klasyfikacji danych nieprzetworzonych nie jest zaskoczeniem. Jest jednak zastanawiające dlaczego nawet duża redukcja liczby kanałów nie spowodowała istotnych zmian dokładności całkowitej. Zamieszczone w przewodniku macierze błędów pozwalają na prześledzenie klasyfikacji poszczególnych klas w zestawach, ale też nie dają odpowiedzi na to pytanie.

Wyniki przedstawione w publikacji 5 potwierdzają stosowaną zasadę, że należy klasyfikować dane oryginalne a nie po fuzji. Znajduje to zastosowanie szczególnie w klasyfikacji obiektowej, w której pan-sharpening jest stosowany najczęściej w czasie segmentacji.

Doktorantka słusznie zwróciła uwagę na konieczność symulacji kanałów o wysokiej rozdzielczości z uwzględnieniem podziału na powierzchnie naturalne i sztuczne oraz sugerując podejście, które zostało zaproponowane w publikacji 6.

*Etap V. Metoda symulacji nowych kanałów wysokorozdzielczych w aspekcie zwiększenia jakości spektralnej obrazów lotniczych (rozdział 3.5 Przewodnika).*

W publikacji 6 „A simulation approach to pansharpening aerial and satellite images” przedstawiono prace, których celem było generowanie nowych kanałów, które mogą być wykorzystane w procesie pan-sharpeningu. Przetwarzano dane lotnicze zarejestrowane kamerą DMC II 230 (kanały PAN, Blue, Green i Red) oraz dane satelitarne Sentinel-2. Na ich podstawie przeprowadzono wielorakie analizy porównawcze, których celem było zasymulowanie nowych kanałów danych lotniczych, które można zastosować w procesie wzmocnienia zdjęcia satelitarnego. Zgodnie z opisem, można je podzielić na dwa podstawowe etapy. W pierwszym, na podstawie danych lotniczych, określono zależności między kanałem PAN a kanałami R, G i B. Funkcje zależności zdefiniowano stosując model regresyjny oddzielnie dla 4 klas pokrycia terenu: lasy, pastwiska, pola oraz gleba bez pokrywy roślinnej. Powierzchnie testowe zostały wyznaczone na podstawie oceny wizualnej zdjęcia lotniczego.

W drugim etapie pracy na podstawie lotniczych kanałów R, G, B podjęto próbę odtworzenia kanału PAN. W tym celu zastosowano trzy metody polegające na sumowaniu kanałów RGB, uśrednianiu ich oraz z zastosowaniem współczynników systemu barw YUV. Utworzone obrazy panchromatyczne oraz lotnicze kanały R, G, B zostały połączone ze zdjęciem satelitarnym Sentinel-2 metodą pan-sharpeningu Gram-Schmidt.

Przeprowadzone analizy porównawcze doprowadziły do konkluzji o możliwości symulowania wysokiej jakości kanałów spektralnych z zastosowaniem zaproponowanej metody. Potwierdzono również zasadność prowadzenia procesu pan-sharpeningu oddzielnie dla poszczególnych klas pokrycia terenu.

W tekście zamieszczonym w przewodniku doktorantka zwraca uwagę na konieczność rozwiązania problemu automatyzacji zaproponowanego podejścia. Jest to istotne, ponieważ na obecnym etapie prac badawczych istotną rolę odgrywa interpretacja wizualna. Dodatkowo dołączono szereg wykresów ilustrujących zależności między analizowanymi kanałami oraz tabele ze szczegółowymi wynikami przeprowadzonej oceny.

Publikację 6 oceniam jako wyróżniającą się w cyklu.

### **Podsumowanie.**

Uwagi do poszczególnych artykułów oraz tekstu przewodnika zostały przedstawione w toku oceny kolejnych etapów przeprowadzonych badań.

W przewodniku pokazane są etapy prac przeprowadzonych w ramach rozprawy, związki między nimi, uzyskane wyniki oraz wnioski na przyszłość. Wprowadzone uzupełnienia spowodowały, że szereg krytycznych uwag sformułowanych w pierwszej recenzji, nie dotyczy nowego tekstu.

Publikacje składające się na cykl publikacyjny dotyczą fuzji danych mającej na celu poprawę możliwości interpretacji wizualnej zdjęć lotniczych jak również automatycznej klasyfikacji form pokrycia terenu. W obu przypadkach podkreślane jest znaczenie zachowania radiometrii łączonych danych. Jest to istotne, ale nie w jednakowym stopniu. Obraz przygotowany z myślą o interpretacji wizualnej ma być przede wszystkim „czytelny”, zachowanie radiometrii nie jest tak istotne. Dodatkowo należy mieć na uwadze, że w badaniach środowiskowych (a do takich są odwołania) posługujemy się obrazami w barwach nienaturalnych, na których są dobrze rozróżnione formy pokrycia terenu. W przypadku klasyfikacji automatycznej należy natomiast dążyć do zachowania radiometrii ponieważ od tego zależy powtarzalność wyników. W publikacjach rozprawy nie znajdujemy informacji o potrzebie stosowania korekcji atmosferycznej danych obrazowych. Osobnym zagadnieniem współczesnej fuzji danych w badaniach środowiskowych jest prowadzenie analiz bez potrzeby ich fizycznego łączenia, co jest szczególnie ważne w kontekście przetwarzania „big data” – jest to poza tematem rozprawy.

W czasie obrony rozprawy chciałbym zapoznać się z opinią doktorantki na temat znaczenia korekcji atmosferycznej w zaproponowanym podejściu integracji danych lotniczych i satelitarnych.

### **Konkluzja końcowa recenzji.**

Stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Katarzyny Siok nt. „Symulacja dodatkowych kanałów dla zdjęć lotniczych w aspekcie podwyższenia ich jakości spektralnej” spełnia warunki stawiane rozprawom doktorskim określone w Rozporządzeniu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018. Wnoszę o dopuszczenie mgr inż. Katarzyny Siok do dalszych etapów postępowania oraz publicznej obrony przedłożonej rozprawy doktorskiej.