

Autoreferat

1. Imię i nazwisko.

Sławomir Królewicz

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.

Magister geografii ze specjalnością kształtowanie środowiska przyrodniczego, tytuł pracy - „Opracowanie dynamiczne zmiany strefy brzegowej Jeziora Gardno”, praca napisana pod kierunkiem profesora dr. hab. Leona Kozackiego, obroniona 24 lipca 1994 roku na Wydziale Nauk Geograficznych i Geologicznych, Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza

Doktor w zakresie nauk o ziemi, rozprawa doktorska pt.: „Zmienność jasności powierzchni piaszczystych na zdjęciach lotniczych”, promotor profesor dr hab. inż. Jerzy Cierniewski, praca obroniona 2 listopada 2002 roku na Wydziale Nauk Geograficznych i Geologicznych, Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza.

3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych.

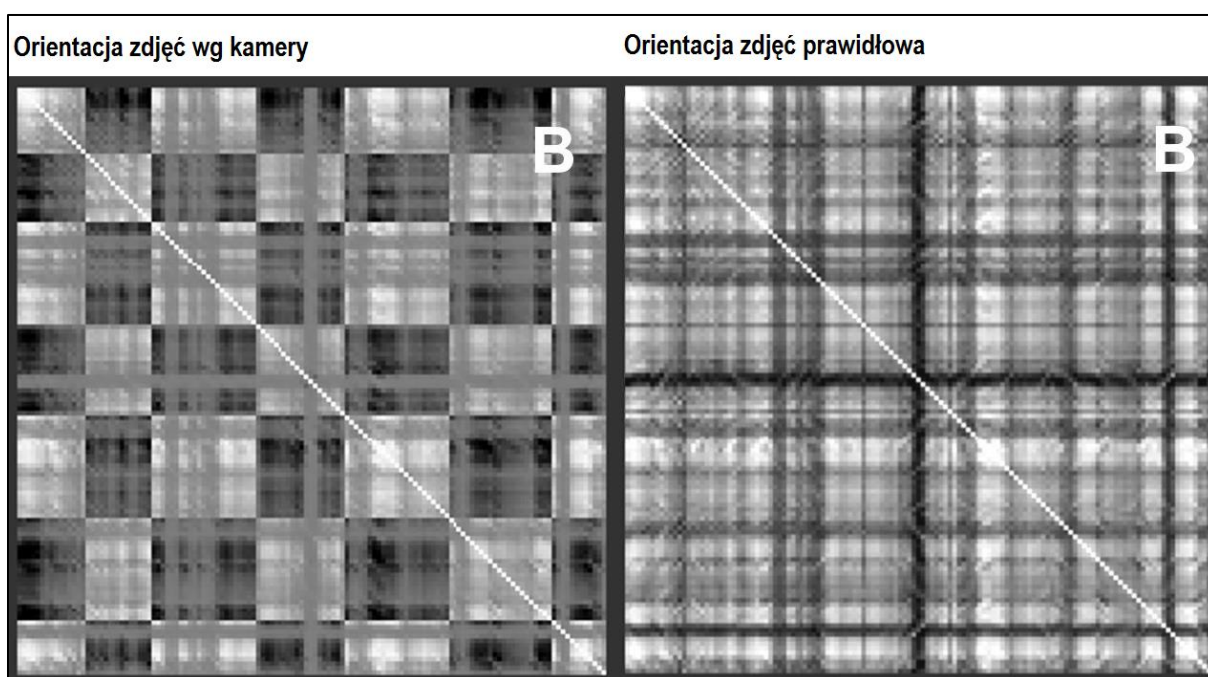
1.10.1993 – 31.09.1994 - Uniwersytet im. Adama Mickiewicza - prac. naukowo-techniczny,
1.10.1994 – 31.03.2003 Uniwersytet im. Adama Mickiewicza - na stanowisku asystenta,
1.04.2003 - 31.03.2018 Uniwersytet im. Adama Mickiewicza - na stanowisku adiunkta,
1.04.2018 - do chwili obecnej - Uniwersytet im. Adama Mickiewicza, na stanowisku starszego wykładowcy.

4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2020 r. poz. 85 z późn. zm.). Omówienie to winno dotyczyć merytorycznego ujęcia przedmiotowych osiągnięć, jak i w sposób precyzyjny określać indywidualny wkład w ich powstanie, w przypadku, gdy dane osiągnięcie jest dziełem współautorskim, z uwzględnieniem możliwości wskazywania dorobku z okresu całej kariery zawodowej.

Inspiracją do podjęcia tematu analizy czynników wpływających na obraz terenu na zdjęciach lotniczych było uczestnictwo w wieloletnich badaniach nad dwukierunkowym odbiciem spektralnym (BRDF - Bidirectional Reflectance Distribution Function) oraz albedem od powierzchni glebowych i roślinnych prowadzonych zespołowo lub indywidualnie w Zakładzie Gleboznawstwa i Teledetekcji Gleb, Instytutu Geografii Fizycznej i Kształtowania Środowiska Przyrodniczego, WNGiG UAM (po reorganizacji Uniwersytetu jednostka nosi nazwę Pracownia Teledetekcji Środowiskowej i Gleboznawstwa). Przygotowana monografia pt. **Analiza czynników wpływających na obraz terenu na zdjęciach lotniczych i symulator do badania podobieństwa bloków zdjęć lotniczych** stanowi uwieńczenie moich dotychczasowych poszukiwań badawczych dotyczących syntetycznego spojrzenia na zjawisko dwukierunkowego odbicia spektralnego w aspekcie formowania obrazu, zmienności jego wpływu i korekcji w ramach dużych zbiorów zdjęć lotniczych zwanych blokami lub zespołami.

Idea podobieństwa czy jego braku z wykorzystaniem współczynnika korelacji, jako średniej z wszystkich możliwych korelacji w zbiorze zdjęć bloku, po raz pierwszy została użyta przeze mnie podczas prac nad możliwościami interpretacji pośredniej gleb obszarów leśnych na podstawie wielospektralnych zdjęć lotniczych RGBNIR z cyfrowej kamery DMC I, w ramach współpracy z Biurem Urządzenia Lasu i Geodezji Leśnej w Brzegu (BULiGL), Pierwotnie zakładałem wykorzystanie współczynnika korelacji do wyszukiwania par zdjęć w bloku, pomiędzy którymi najtrudniej jest przeprowadzić wyrównanie jasności/barw ze względu na nietypowe rozkłady naświetlenia (BRDF i inne czynniki) przy montażu zdjęć do postaci ciągłej ortofotomapy. Wszystkie możliwe korelacje zestawiałem w rastrowej macierzy, w ramach której każda komórka rastrowa to wartość korelacji dla jednej pary zdjęć. Uporządkowanie korelacji par zdjęć w macierzy jest zgodne z rzeczywistą kolejnością rejestracji zdjęć w bloku. Pewną wadą takiego sposobu przedstawiania korelacji cząstkowych pomiędzy wszystkimi zdjęciami w bloku jest powtórzenie informacji, niemniej jednak olbrzymią zaletą jest możliwość korzystania z różnych narzędzi przetwarzania i analizy obrazu.

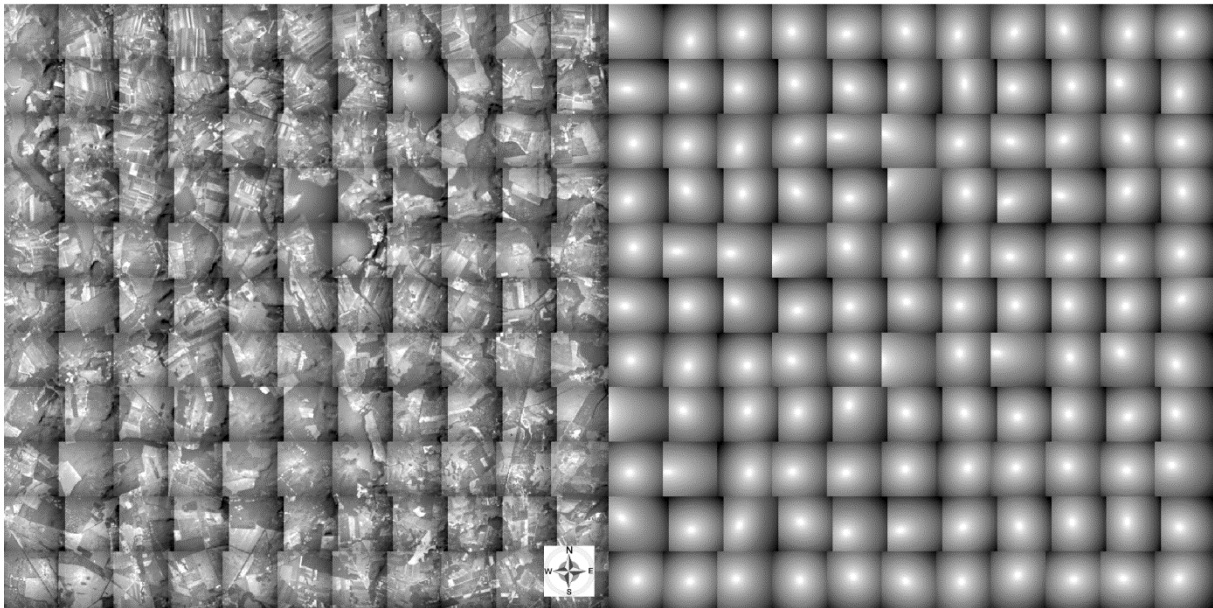
Zauważyłem jak znacząco na macierz rastrową korelacji pomiędzy zdjęciami wpływa ich orientacja względem kierunku oświetlenia. Wspomniany blok zdjęć lotniczych dla BULiGL został wykonany z równoleżnikową orientacją szeregów, przy czym każdy kolejny szereg robiono w przeciwnym kierunku, ale nie obracano kamery w trakcie lotu przy rozpoczynaniu nowego szeregu. W wyniku takiego sposobu realizacji nalogu oryginalne zdjęcia w co drugim szeregu nie były zorientowane prawidłowo (względem kierunku oświetlenia). Na rycinie 1 zaprezentowałem dwie macierze korelacji dla wspomnianego bloku, złożonego z siedmiu szeregów (łącznie 131 zdjęć, dla niebieskiego zakresu spektralnego - litera B na ilustracji); uporządkowanie korelacji cząstkowych jest zgodne z kolejnością rejestracji zdjęć, licząc początek od lewego górnego narożnika macierzy korelacji). Macierz z lewej strony ilustracji dotyczy oryginalnej orientacji zdjęć, natomiast macierz po prawej stronie ilustracji dotyczy uporządkowanej geograficznie orientacji zdjęć. Na macierzy korelacji z lewej strony ilustracji wyraźnie wyróżnia się wzór podobny do szachownicy – dokładnie jest to siedem pasków poziomych i siedem pionowych, naprzemiennie, w jasnych i ciemnych odcieniach (duże zmiany wartości korelacji – ciemny/jasny pas). Każdy taki pas odpowiada jednemu szeregowi zorientowanemu zgodnie z ruchem statku powietrznego, a jego szerokość zależy od liczby zdjęć w danym szeregu. Na obrazie korelacji z prawej strony brak jest szerokich pasów. W tym przypadku zmiany korelacji wynikają głównie z różnic przestrzennego rozkładu treści zdjęć.



Ryc. 1. Rastrowe macierze korelacji 131 zdjęć lotniczych (zakres niebieski), jednego bloku złożonego z siedmiu szeregów wykonanych kamerą DMC I. Wartość korelacji przedstawiana w odcieniach szarości (-1 – czarny, 1 – biały). Ilustracja jest fragmentem wyodrębnionym z ryciny 2-9 zawartej w omawianej monografii (w monografii oznaczenie ilustracji składa się z numeru rozdziału i numeru kolejnej ilustracji).

Na zagadnienia związane z procesem wykonywania zdjęć lotniczych w bloku można też spojrzeć w nieco inny sposób – z punktu widzenia podobieństwa. O ile „treść” zdjęć, czyli rozkład współczynnika odbicia w postaci znormalizowanej, jest powodem odmienności zdjęć między sobą, o tyle zjawiska powiązane z polem widzenia (wymiar ogniskowej w relacji do rozmiaru matrycy), czyli winietowanie, BRDF i kierunkowe efekty przemian atmosferycznych, mogą być przyczyną pewnego stopnia podobieństwa zdjęć do siebie. Wizualnie takie podobieństwo nie zawsze jest widoczne zwłaszcza gdy zdjęcia wykonano układem optycznym o długiej ogniskowej. W analizie i korekcji rozkładów naświetlenia zdjęć często stosuje się analizę trendu powierzchniowego (Gehrke i Beshah, 2016; Molina i in. 2010; Chandelier, Martinoty, 2009; Ben-Artzi i in., 2008). Trend powierzchniowy zdjęcia lotniczego jest generalizacją rozkładu naświetlenia w takim sensie, że obraz zostaje pozbawiony treści, a przedstawia tylko ogólne tendencje zmian w rozkładzie naświetlenia. Z matematycznego punktu widzenia w analizie trendu powierzchniowego na obrazach stosuje się najczęściej wielomiany różnych stopni – funkcja zostaje dopasowana do zmian jasności/barw na zdjęciu. Przykład takich rozkładów dla symulowanego bloku zdjęć lotniczych przedstawiłem na rycinie 2. Większość rozkładów naświetlenia w całym bloku jest do siebie bardzo podobna - generalnie poprzez radialny spadek naświetlenia w kierunku ramki zdjęcia. Nieregularności w rozkładzie

naświetlenia pojawiają się gdy w zasięgu zdjęcia występują duże powierzchnie jednolite pod względem odbitego światła, np. duże jeziora, wydmy (zwłaszcza gdy ich położenie jest bliskie krawędzi). Takie podejście pozwala postawić hipotezę, że efekt zjawisk formujących obraz na zdjęciach w ramach całego bloku można oceniać na podstawie ogólnie stosowanych miar podobieństwa.



Ryc. 2. Symulowane zdjęcia lotnicze w bloku (symulacja uwzględnia efekt BRDFu, winietowanie i efekty zmian w atmosferze) i obrazy trendu powierzchniowego (na podstawie funkcji wielomianu drugiego rzędu). Symulacje według warunków oświetlenia z 22 czerwca, początek fotografowania godz. 9:00, czas łączny fotografowania - około 1,5 h, przy pokryciu podłużnym i poprzecznym 10x10%, ogniskowej 90 [mm] i wymiarze macierzy cyfrowej 10x10 [cm]. Ilustracja w monografii została zamieszczona jako rycina 1-6 (w monografii oznaczenie ilustracji składa się z numeru rozdziału i numeru kolejnej ilustracji).

Tak powstał pomysł opisu jedną miarą - średnią korelacją - wpływu zjawisk formujących obraz w kamerach o stożkowym polu widzenia dla określonego obszaru objętego fotografowaniem. Przeanalizowanie zmienności średniej korelacji bloku w zależności od różnych czynników wpływających na zarejestrowane zdjęcie takich jak: 1) zmienność pokrycia terenu, 2) urozmaicenie rzeźby fotografowanego terenu, 3) warunki oświetlenia i obserwacji, 4) wysokość lotu, 5) ogniskowa kamery, 6) pokrycie poprzeczne i podłużne, 7) prędkość lotu itp. wymagałoby posiadania bloków zdjęć lotniczych wykonanych w bardzo różnych warunkach oświetlenia, kamerami o różnej długości ogniskowej (co warunkuje zmienność warunków obserwacji) nad różnymi obszarami. Niezbędne byłoby również zgromadzenie obszernej dokumentacji dotyczącej nalotów i kamer.

W praktyce brak jest możliwości pozyskania realnych bloków zdjęć lotniczych sfotografowanych w bardzo zróżnicowanych warunkach oświetlenia (od wschodu do zachodu słońca), z wykorzystaniem sensorów o ogniskowych zmiennych w dużym zakresie. Bloki zdjęć lotniczych na potrzeby zasobu państwowego geodezyjnego i kartograficznego są wykonywane zazwyczaj w tzw. optymalnych warunkach i są powtarzane raz na kilka lat.

Samodzielne przygotowanie materiału zdjęciowego z wykorzystaniem bezzałogowych statków powietrznych (BSP), w aspektach czasu, kosztów zaplecza technicznego oraz wystąpienia odpowiednich warunków pogodowych, byłoby niemożliwe do zrealizowania w ciągu kilku sezonów. Ilość potrzebnych danych można by wyrazić liczbą kilkuset symulacji obliczonych na potrzeby realizacji badań prezentowanych w ramach monografii. Dlatego wobec braku możliwości pozyskania rzeczywistych danych w postaci bloków zdjęć lotniczych napisanie dedykowanego oprogramowania w postaci symulatora wykonywania zdjęć lotniczych wydawało się jedynym możliwym rozwiązaniem.

W omawianej monografii podjąłem się zatem badań nad zmiennością podobieństwa zdjęć pomiędzy blokami, zależnie od przestrzennego zróżnicowania współczynnika odbicia, zjawiska dwukierunkowego odbicia spektralnego na powierzchni ziemi, efektów rozpraszania światła w atmosferze i winietowania układu optycznego w warunkach oświetlenia bezpośredniego oraz zastosowaniu podstawowych reguł planowania nalotów lotniczych.

Ze względu na praktyczne trudności ze zgromadzeniem odpowiednio zróżnicowanego pod względem warunków oświetlenia, obserwacji i różnych parametrów fotografowania rzeczywistego materiału zdjęciowego, zakres niniejszej pracy objął przygotowanie odpowiedniego oprogramowania komputerowego – Symulatora Zdjęć Lotniczych (SZL). Zadaniem tej aplikacji było wykonywanie obliczeń symulacji zdjęć lotniczych w bloku o zadanych parametrach pokrycia, wysokości lotu, przez zdefiniowany układ optyczny (ogniskowa, winietowanie) zmieniających się warunkach oświetlenia i obserwacji oraz niezbędnych obliczeń statystycznych w tym korelacji dla par zdjęć i średniej dla bloków.

Podjęty temat badawczy ma charakter poznawczy i w takiej formie, według mojej wiedzy, nie był dyskutowany do tej pory w literaturze naukowej. **Na monografię składają się zasadniczo dwa osiągnięcia: przygotowane oprogramowanie Symulator Zdjęć Lotniczych oraz wykorzystanie średniej korelacji bloku zdjęć do wyrażenia podobieństwa zdjęć w bloku jako miary wpływu czynników wpływających na obraz terenu na tych zdjęciach.** Zaprezentowane wyniki mają głównie charakter poznawczy i pozwalają opisać wpływ wielu zjawisk na formowanie obrazu w postaci jednej liczby - średniej korelacji bloku i analizować zmienność tego parametru, na przykład, w trakcie dnia czy roku, czy w zależności od długości ogniskowej. Uzyskane rezultaty można również wykorzystać w praktyce, np. do oceny jakości korekcji radiometrycznej zespołów zdjęć wykonanych kamerami o stożkowym polu widzenia i czy takowa korekcja na zdjęciach udostępnianych w zasobie miała miejsce.

Przygotowana monografia składa z siedmiu rozdziałów. Pierwszy i drugi rozdział obejmują opis stanu współczesnej wiedzy na temat wykonywania i przetwarzania zdjęć lotniczych na potrzeby opracowań fotogrametrycznych i teledetekcyjnych. Oddzielny podrozdział w rozdziale drugim dotyczy wykorzystania miary korelacji w przetwarzaniu i interpretacji obrazów. Rozdział trzeci zawiera opis zastosowanej metodyki, w szczególności przyjętych założeń teoretycznych działania oprogramowania SZL, wykorzystanych wzorów i modeli matematycznych, sposób przygotowania danych wejściowych do symulacji oraz opis przeprowadzonych eksperymentów. Rozdział czwarty to omówienie funkcjonalności oprogramowania - SZL i sposobu przeprowadzania obliczeń. W rozdziale piątym charakteryzuję obszary badawcze, nad którymi prowadziłem symulacje bloków zdjęć, ze szczególnym uwzględnieniem zróżnicowania modeli wysokościowych pokrycia terenu oraz współczynnika odbicia różnych rodzajów pokrycia terenu. Rozdział szósty zawiera przedstawienie symulacji bloków zdjęć lotniczych w zakresie zróżnicowania składowych formowania obrazu, korelacji jako miary podobieństwa bloków zdjęć lotniczych dla postaci zdjęć pionowych (znormalizowanych), wskaźnika dwukierunkowego odbicia spektralnego jako składowej formowania obrazu, postaci zdjęć bez winietowania i z jego uwzględnieniem, zmienności średniej korelacji bloków w zależności od ogniskowej, pory roku i dnia, zakresu spektralnego, wielkości zdjęcia, wybranych typów współczesnych kamer oraz wykorzystania funkcji wielomianowych do korekcji radiometrycznej zdjęć. Rozdział siódmy to dyskusja dotycząca wykorzystanych danych, przyjętych założeń i uproszczeń działania SZL, w tym m.in. rozmiaru symulowanych zdjęć, wykorzystanych modeli (BRDF, rozpraszania atmosferycznego, winietowania) na uzyskane wyniki, porównanie średniej korelacji dla symulowanych i rzeczywistych bloków zdjęć lotniczych, a ponadto wykazanie niezmienności wartości średniej korelacji do szóstego poziomu piramidy obrazowej, porównanie funkcjonalności SZL z oprogramowaniem do projektowania nalołów i wskazanie możliwych innych jego zastosowań i kierunków dalszego rozwoju.

Formowanie obrazu fotograficznego

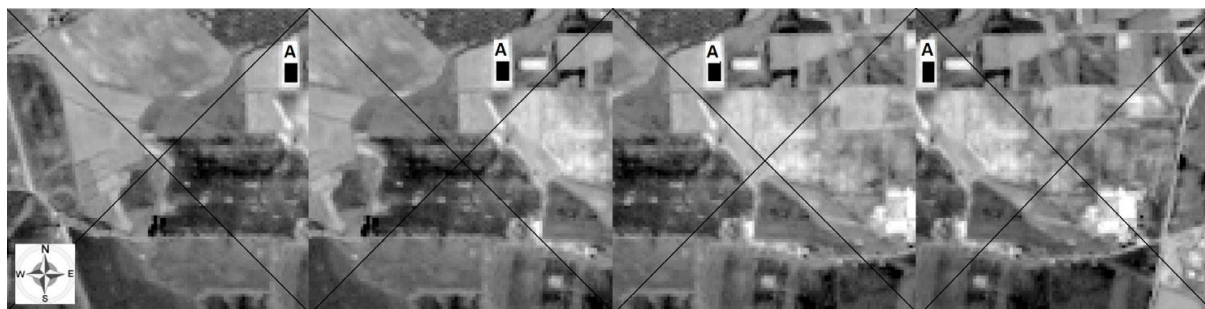
Przedstawiony poniżej w skrótej formie zarys tego zagadnienia był podstawą do zaprojektowania i napisania SZL. Zagadnienia teoretyczne procesu fotografowania i rejestracji obrazu obejmują zjawiska związane z odbiciem światła od powierzchni terenu, jego przemianami w atmosferze, działaniem układów optycznych o stożkowym polu widzenia i zapisem obrazu poprzez kwantyzację zarejestrowanego sygnału z określoną precyzją. Rejestracja obrazu fotograficznego wiąże się z aspektami geometrycznymi i radiometrycznymi. Mimo wprowadzenia wielu innowacji w sposobach rejestracji obrazu nadal geometryczne podstawy jego formowania w zdecydowanej większości sensorów pasywnych opierają się na rzucie środkowym, co jest również podstawą ich dalszego przetwarzania (Kasser i Egels, 2002; Kheiri, 2006; Chen i in., 2016; Study to compare..., 2019).

Obraz uzyskany techniką fotograficzną z zastosowaniem rzutu środkowego (perspektywicznego) jest obciążony różnymi zniekształceniami. Przede wszystkim proces fotografowania zamienia przestrzenny obraz terenu w obraz dwuwymiarowy (Stojakovic, 2008; Yilmaz i in., 2008). Największe zniekształcenia geometryczne powodowane są przez głębię obrazu wynikającą z różnic wysokości i pokrycia terenu, czyli na przykład w trakcie fotografowania obszarów górskich czy centrów wielkich miast z wieloma wysokimi budynkami. Dodatkowe zniekształcenia geometryczne powstają, szczególnie w przypadku kamer niemetrycznych, z powodu wad soczewek układu

optycznego (np. dystorsja radialna i tangencjalna), niestabilności temperatury i ciśnienia otoczenia, rodzaju zastosowanej migawki (Kurczyński i Bielecki, 2017), ruchu statku powietrznego w trakcie ekspozycji, niepłaskości matrycy cyfrowej, aktualnego rozkładu prądów powietrznych przed obiektywem (ze szkłem ochronnym), refrakcji atmosferycznej oraz krzywizny Ziemi (Scholer, 1975). Trzy ostatnie wymienione czynniki mają znaczenie przy małych skalach, przy dużej wysokości lotu i zależą od warunków atmosferycznych.

Naświetlenie to ilość światła uczestniczącego w formowaniu obrazu w płaszczyźnie zdjęcia, w przypadku fotografii analogowej odpowiadającego ramce filmu fotograficznego, a w fotografii cyfrowej – matrycy złożonej z pikseli. Naświetlenie jest wprost proporcjonalne do iloczynu gęstości strumienia świetlnego, powierzchni przekroju otworu względnego i czasu trwania naświetlania, a odwrotnie proporcjonalnie do poczwórnego kwadratu ogniskowej (Lillesand i in., 2008). Rozkład naświetlenia w płaszczyźnie rzeczywistego zdjęcia wykonanego w rzucie środkowym zależy od: 1) rozkładu przestrzennego współczynnika odbicia, 2) warunków oświetlenia w aspekcie proporcji pomiędzy światłem rozproszonym a bezpośrednim słonecznym, 3) cech układu optycznego, z których najważniejsza jest ogniskowa, 4) położenia oraz orientacji układu fotografowana powierzchnia/ kamera w stosunku do źródła światła (w warunkach naturalnych jest to słońce), 5) stanu atmosfery, który wpływa na osłabienie odbitego promieniowania lub dodanie rozproszonego w kierunku sensora promieniowania zależnie od zawartości aerozoli i położenia słońca, 6) parametrów fotografowania (prysłona, czas migawki, czułość), które w przypadku fotografii lotniczej są zazwyczaj ustalane poprzez automatyczny pomiar w trakcie lotu.

Współczynnik odbicia promieniowania elektromagnetycznego od powierzchni terenu jest definiowany jako stosunek energii odbitej do całkowitej energii padającej. Można go rozpatrywać, rozważając dwie hemisfery, czyli jako stosunek energii odbitej we wszystkich kierunkach do energii docierającej ze wszystkich kierunków (Duggin, 1980). Można go również rozpatrywać kierunkowo, tzn. jako stosunek energii odbitej do docierającej z określonego kierunku (Honkavaara i in., 2012) albo odbitej w określonym kierunku do całkowitej z wszystkich kierunków przy rozważaniu zróżnicowania rozkładu kierunkowego odbicia (Schaepman-Strub i in., 2006). Współczynniki odbicia można zestandaryzować do określonych warunków oświetlenia i obserwacji (Honkavaara i in., 2012; Mishra i Zhang, 2012) oraz rozpatrywać zarówno w szerokich, jak i wąskich zakresach spektralnych. Pozyskiwanie kolejnych zdjęć w bloku z różnych pozycji w przestrzeni różnicuje zdjęcie od zdjęcia w taki sposób, że te same elementy pokrycia terenu znajdują się w różnych miejscach w stosunku do środka zdjęcia na kolejnych zdjęciach (rycina 3). Innymi słowy, zróżnicowanie przestrzenne znormalizowanego współczynnika odbicia można określić jako składową formującą obraz, która zawsze różnicuje zdjęcia między sobą.

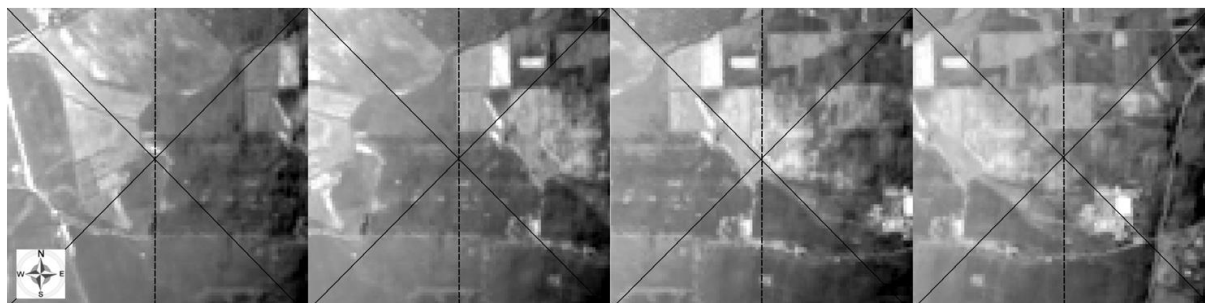


Ryc. 3. Położenie obiektu A względem środka wyznaczonego przez przekątną, czterech kolejnych zdjęć w szeregu, przy pokryciu podłużnym 70%, ogniskowej 90 mm i wymiarze matrycy cyfrowej 10x10 cm (100x100 pikseli). Symulowane obrazy przedstawiają tylko rozkład współczynnika odbicia bez efektów stożkowego pola widzenia (winiętowania, BRDF i efektów atmosferycznych). Ilustracja w monografii została zamieszczona jako rycina 1-1.

Zjawisko dwukierunkowego odbicia spektralnego, znane pod angielskim skrótem BRDF (Bidirectional Reflectance Distribution Function), to zróżnicowanie wielkości odbitego promieniowania od obiektu, w zależności od dwóch kierunków: oświetlenia i obserwacji (Schaepman-Strub i in., 2006; Cierniewski i in., 1995; Cierniewski, 1999; Nicodemus i in. 1977). Kierunek oświetlenia zależy od położenia słońca, może być zdefiniowany przez podanie jego geograficznej pozycji wertykalnej oraz horyzontalnej, podobnie jak kierunek obserwacji kamery - przez podanie poziomego i wertykalnego kąta obserwacji w odniesieniu do środka rzutu oraz osi optycznej obiektywu. Jednakże dla konkretnej powierzchni jednostkowej, warunki oświetlenia i obserwacji będą zależeć także od jej orientacji topograficznej, czyli od nachylenia i wystawy stoku. Wówczas kierunki oświetlenia i obserwacji, opisywane przez kąt padania promieni słonecznych i kąt obserwacji, mierzone są w stosunku do normalnej (prostopadła) tej powierzchni. Zjawisko BRDFu występuje przy bezpośrednim oświetleniu słonecznym a jedną z

najważniejszych jego przyczyn jest szorstkość fotografowanej powierzchni. Szorstkość w teledetekcji i fotogrametrii jest rozumiana jako lokalne różnice wysokości występujące na powierzchni terenu, które są między innymi przyczyną powstawania cienia. W fotografii lotniczej, rozważając wpływ BRDFu na rozkład naświetlenia w płaszczyźnie zdjęcia, trzeba uwzględnić co najmniej dwa poziomy skalowe szorstkości – pierwszy, bardziej ogólny związany ze zróżnicowaniem rzeźby terenu a mający wpływ na warunki oświetlenia i obserwacji oraz drugi dokładniejszy, związany z charakterem powierzchni różnych rodzajów porycia (las, łąka, trawnik, droga, kostka brukowa, gleba niepokryta roślinnością itp.). Jednym z kierunków badań podstawowych w teledetekcji było i jest poznanie oraz modelowanie rozkładów odbicia od różnych rodzajów pokrycia terenu (Wen i in., 2018; Rengarajan i Schott, 2017; Montes i Urena, 2012; Roberts, 2001; Cierniewski, 1999; Cierniewski i in., 1998). Innym istotnym kierunkiem badań nad zjawiskiem BRDFu w teledetekcji jak i w fotogrametrii, są metody jego szacowania i korekcji na obrazach, w tym również na zdjęciach lotniczych, zwłaszcza w kontekście absolutnej kalibracji radiometrycznej (Burggraaff i in., 2019; Miyosh i in., 2018; Honkavaara i Khoramshahi, 2018; Teo i Wu, 2015; Collings i in., 2011; Królewicz, 2010; Honkavaara i in., 2009a; Honkavaara i in., 2009b; Ryan i Pagnutti, 2009; Beisl i in., 2008; Beisl, 2006; Królewicz, 2003; Jupp, 2000; Królewicz, 2000a i 2000b).

Zastosowanie rzutu środkowego w kamerach jest przyczyną zróżnicowania kierunku obserwacji w płaszczyźnie zdjęcia, przy stałych (w momencie ekspozycji) warunkach oświetlenia. Wielkość i zmienność naświetlenia wynikająca z BRDFu jest bardziej zauważalna dla krótszych ogniskowych i przy niskim położeniu słońca nad horyzontem. W warunkach oświetlenia bezpośrednim promieniowaniem słonecznym (kierunkowym) każde zdjęcie jest podzielone na dwie strefy – obiektów obserwowanych z kierunków odsłonecznych i dosłonecznych. Największe zróżnicowanie jasności ze względu na kierunek obserwacji występuje na kierunku głównej płaszczyzny słonecznej (kierunek aktualnej pozycji słońca), najmniejsze na kierunku do niego prostopadłym, który jest jednocześnie linią podziału na wspomniane dwie strefy obserwacji (Silva i Candeias, 2012). W strefie obserwacji dosłonecznej kamera obserwuje obiekty od strony zacienionej, a w strefie obserwacji odsłonecznej widzi elementy oświetlone. Strefa obserwacji dosłonecznej jest zatem ciemniejszą częścią zdjęcia, a strefa obserwacji odsłonecznej jest częścią jaśniejszą (rycina 4). Zmiana położenia słońca w trakcie wykonywania kolejnych zdjęć w bloku powoduje zmiany położenia głównej płaszczyzny słonecznej, stopniowe przesuwanie stref obserwacji dosłonecznej i odsłonecznej w płaszczyźnie zdjęcia, w odniesieniu do kierunków geograficznych i orientacji kamery (Honkavaara i in., 2012).

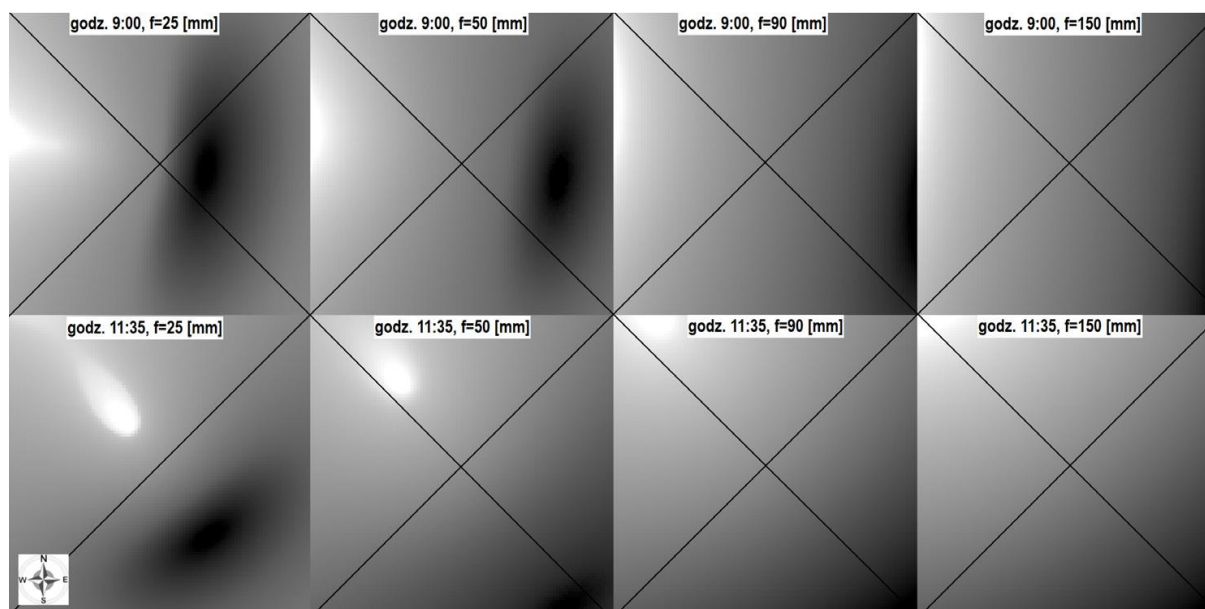


Ryc. 4. Podział zdjęcia (linią pionową przerywaną) na dwie strefy obserwacji dosłonecznej (ciemniejsza) i odsłonecznej (jaśniejsza), na przykładzie czterech kolejnych zdjęć w szeregu przedstawiających rozkład współczynnika odbicia wraz z efektem BRDF. Zdjęcia symulowane przy pokryciu podłużnym 70%, ogniskowej 90 mm i wymiarze matrycy cyfrowej 10×10 cm (100×100 pikseli). Początek fotografowania o godzinie 9:00, 22 czerwca (kierunek oświetlenia – E, z prawej strony ilustracji). Przekątne wyznaczają punkt główny zdjęcia. Ilustracja w monografii została zamieszczona jako rycina 1-3.

Proporcje pomiędzy światłem rozproszonym a bezpośrednim mają znaczący wpływ na formowanie obrazu techniką fotograficzną. Jednolite zachmurzenie chmurami typu cirrostratus, altostratus lub stratus bardzo mocno ogranicza bądź całkowicie eliminuje anizotropowość odbicia od obiektów na powierzchni ziemi i rozpraszania promieniowania w atmosferze. Przy świetle rozproszonym warunki oświetlenia są równiejsze dla wszystkich zdjęć w bloku przez długi okres w ciągu dnia. W przypadku oświetlenia bezpośrednim promieniowaniem słonecznym z kilkuprocentowym udziałem składnika rozproszonego (brak widocznego zachmurzenia) warunki oświetlenia na kolejnych zdjęciach zmieniają się w wyniku ruchu obrotowego Ziemi, którego konsekwencją są zmiany pozycji azymutalnej i wertykalnej słońca w stosunku do fotografowanego terenu. Dlatego dla bloku zdjęć lotniczych, którego czas wykonania może być liczony w godzinach, warunki oświetlenia dla każdego kolejnego zdjęcia ulegają zmianie. Treść większości podręczników i instrukcji zaleca wykonywanie zdjęć przy pewnej minimalnej wysokości słońca nad horyzontem (Honkavaara i in., 2012; Pepe i in., 2018). Najgorsze warunki, z punktu widzenia wykonania zdjęć,

a także ich późniejszego przetwarzania czy interpretacji, panują w trakcie zachmurzenia nieciągłego (np. chmury pięknej pogody – cumulus humilis).

Zmiany promieniowania elektromagnetycznego w atmosferze zarejestrowane na zdjęciach lotniczych zależą od wysokości fotografowania oraz rodzaju, wielkości, stężenia i dystrybucji aerozoli, zakresu zmienności kąta widzenia (ogniskowa), położenia kamery w stosunku do aktualnej pozycji Słońca (Slater i in., 1985). Natężenie rozpraszania zależy od długości fali – im promieniowanie jest krótsze, tym bardziej jest rozpraszane. Rozpraszanie promieniowania jest również związane z wielkością cząstek powietrza. Do widocznych efektów na zdjęciach zaliczyć można mgiełkę (ang. haze) zazwyczaj obejmującą równomiernie obszar całego zdjęcia. Na zdjęciach kolorowych mgiełka przybiera zabarwienie niebieskawe ze względu na to, że największemu rozpraszaniu podlega promieniowanie krótkofalowe (niebieskie). Wskutek obecności mgiełki zmniejszeniu ulega czytelność obrazu (rozdzielczość przestrzenna) co wyraża się spadkiem lokalnego kontrastu. Dla zdjęć wykonywanych z dużej wysokości, zwłaszcza przy krótszych ogniskowych, efekt rozpraszania promieniowania w atmosferze może być wyraźnie zróżnicowany zależnie od kierunku obserwacji. Zmienność kierunku obserwacji w kamerze, wynikająca z zastosowania rzutu środkowego, jest przyczyną tego, iż ilość promieniowania wstecznego rozpraszanego przez atmosferę a docierającego do kamery jest zróżnicowana również kątowno, co wynika z „grubości atmosfery” widzianej w danym kierunku (rycina 5).



Ryc. 5. Przykłady symulacji rozkładu rozpraszania promieniowania w atmosferze modelem Halla w płaszczyźnie zdjęcia dla dwóch terminów (22 czerwca, godzina 9:00 i 11:35) i czterech przypadków ogniskowej (25, 50, 90 i 150 mm) dla macierzy o rozmiarze 10×10 cm (100×100 pikseli). Przekątne wyznaczają punkt główny zdjęcia. *Ilustracja w monografii została zamieszczona jako rycina 1-4.*

Określanie wpływu warunków atmosferycznych na rozkład naświetlenia jest dość trudne ze względu na niestabilność atmosfery wyrażającą się ciągłym ruchem powietrza. By oszacować i skorygować wpływ warunków atmosferycznych na obraz można wykorzystać metody fizyczne i empiryczne (statystyczne). Metody fizyczne są stosowane przy absolutnej kalibracji radiometrycznej danych obrazowych, którym powinny towarzyszyć pomiary naziemne promieniowania atmosfery. W przypadku braku pomiarów bezpośrednich korzysta się z modeli transferu promieniowania w atmosferze (ang. RTM - Radiative Transfer Model), pozwalających między innymi na oszacowanie składowych rozpraszania atmosferycznego (Vicent i in., 2019; Richter i Schläpfer, 2015). Do tego typu modeli można zaliczyć MODTRAN (Berk i in., 2014; Gonzales i Velez-Reyes, 1997), ATCOR-4 (Schläpfer i Richter, 2016), 6S (Kotchenova i Vermote, 2007), libRadtran (Emde i in., 2016) czy MAJA (Baetens i in., 2019). Inną metodą powiązania wielkości rozpraszania z warunkami oświetlenia oraz zawartością aerozoli jest formuła opracowana przez Hall'a (Silva i Candéias, 2012; Hall, 1954), która bazuje tylko o zależnościach kątowych położenia słońca i kamery oraz uwzględnia szacunkową zawartość aerozoli w powietrzu. Wśród metod empirycznych najczęściej stosowana jest statystyczna analiza histogramu do wyznaczenia wielkości składnika atmosferycznego. Jedną z takich metod jest stosowana w przypadku obrazów satelitarnych metoda DOS (Dark Objects Substraction).

Najważniejszą cechą układów optycznych kamer i aparatów fotograficznych wykorzystywanych w fotogrametrii oraz teledetekcji jest ogniskowa zarówno w aspektach geometrycznych, jak i radiometrycznych. Wartość ogniskowej jest kluczowa dla finalnego rozkładu naświetlenia, ponieważ decyduje o zakresie zróżnicowania kąta obserwacji, inaczej – o wielkości pola widzenia. Im krótsza ogniskowa, tym zmienność kąta obserwacji jest większa, im dłuższa, tym mniejsza. Długość ogniskowej decyduje o postrzeganiu przez kamerę w trakcie rejestracji obrazu uśrednionego efektu naziemnych rozkładów dwukierunkowego odbicia spektralnego od obiektów na powierzchni terenu, skutków zróżnicowania deniwelacji terenu (głębia obrazu) i ich wpływu na warunki oświetlenia i obserwacji, ewentualnego wystąpienia efektu odbicia zwierciadlanego od powierzchni gładkich (woda, dachy pokryte blachą), efektów rozpraszania promieniowania w atmosferze i wielkości winietowania obiektywu.

Światło przechodząc przez układ optyczny kamery ulega osłabieniu względem środka zdjęcia a zjawisko to określane jest mianem winietowania (Lillesand i in., 2008; Gitin, 1993; Wójcik, 1989; Slater i in., 1985; Furmańczyk, 1980). Im większa jest odległość kątowna od środka zdjęcia tym większe jest osłabienie promieniowania, dlatego też wielkość winietowania w danej kamerze zależy od ogniskowej w relacji do rozmiaru macierzy cyfrowej – im krótsza ogniskowa tym jest ono bardziej widoczne. Z punktu widzenia optyki liniowej spadek naświetlenia następuje zgodnie z przebiegiem funkcji kosinus kąta obserwacji w czwartej potęgzie. Tak zdefiniowane winietowanie zwane jest naturalnym (Jóźwicki, 1970) lub prawem Lamberta (Wójcik, 1989). Wizualnie zjawisko to objawia się radialnym ściemnieniem jasności postępującym w kierunku krawędzi zdjęcia. Zjawisko to jest również zależne od wielkości przysłony (Slater i in., 1985), sposobu ułożenia soczewek w układzie optycznym i rodzaju zastosowanej migawki (migawki mechaniczne). Zwłaszcza sposób ułożenia soczewek, powodujący samozasłanianie elementów układu optycznego, może zmienić charakter tego zjawiska w relacji do definicji winietowania naturalnego (Zheng i in., 2006), zarówno w kierunku redukcji tego zjawiska jak i jego pogłębienia. Winietowanie może być również zróżnicowane spektralnie w przypadku stosowania filtrów (Lebourgeois i in., 2008). Dawniej w przypadku kamer analogowych w celu wyrównania naświetlenia używano filtrów antywinietujących, nakładanych bezpośrednio na obiektyw. Filtry kalibrowano dla każdego obiektywu, a ich charakterystyka była odwrotna do samego zjawiska (Honkavaara i Markelin, 2007; Fleming, 1968). Winietowanie jest właściwością obiektywów, dlatego można je zmierzyć w warunkach laboratoryjnych (Lelong i in., 2008; Yu, 2004) i usunąć ze zdjęć w trakcie wstępnego przetwarzania przed procesem fotogrametrycznym (Królewicz, 2009; Leberl i Gruber, 2007). Taka procedura jest elementem standardowym kalibracji kamer pomiarowych (Leberl i Gruber, 2007).

Korekcja radiometryczna efektów rozpraszania atmosferycznego, BRDFu i winietowania na zdjęciach lotniczych, jest powiązana ze zmianami geometrycznymi obrazów zdjęć. Piksel macierzy obrazowej kamery nie będzie tym samym pikselem na ortofotomapie. Wstępne przetwarzanie obrazów z różnych zakresów spektralnych (z matryc o różnej rozdzielczości) do postaci obrazu wirtualnego (jedna ogniskowa, jedna rozdzielczość) i przetwarzanie fotogrametryczne zdjęć do postaci ortofotomapy (ortorektyfikacja) związane są z tworzeniem nowych macierzy obrazowych - układ macierzy obrazu wirtualnego (układów matryc kamery) i układ pikseli ortofotomapy powiązany z układem współrzędnych prostokątnych (topograficznych, geodezyjnych). Każdy nowy układ pikseli wymaga przeprowadzenia wartości ze starego układu do nowego. Korekcję winietowania najlepiej przeprowadzić w układzie macierzy obrazowej kamery (wszystkie obiektywy oddzielnie). Przeprowadzenie korekcji wpływu BRDFu i rozpraszania atmosferycznego najczęściej jest prowadzone w układzie macierzy obrazu przetworzonego lub wirtualnego (zależnie od ilości obiektywów kamery), przed ortorektyfikacją, zależnie od metody korekcji z opcjonalnym wykorzystaniem informacji trójwymiarowych (DSM, DTM, chmura punktów XYZ). Zależnie od oprogramowania dodatkowe modyfikacje jasności/barw mogą być wykonywane w trakcie montażu rektyfikowanych zdjęć do postaci ciągłej ortofotomapy z uwzględnieniem analizy pokrywających się obszarów zdjęć, by dodatkowo wyeliminować różnice na liniach cięć (szwów). Wszelkie zmiany wartości pikseli odbywają się w zakresie rozdzielczości radiometrycznej kamery (głębokości piksela) w każdym kanale spektralnym oddzielnie (14-16 bitów), a czasami w zredukowanej rozdzielczości radiometrycznej (np. 8-bitów) - odpowiadającej założeniom produktu końcowego (np. 24 bitowa kompozycja RGB lub CIR). Od niemal dekady, tj. od wprowadzenia kalibracji radiometrycznej lotniczych kamer cyfrowych, są prowadzone prace badawcze nad kalibracją absolutną (zapis w postaci współczynnika odbicia) danych fotogrametrycznych, zarówno w postaci pojedynczych zdjęć jak i ortofotomapy (Honkavaara i Khoramshahi, 2018; Honkavaara i in., 2012a; Honkavaara i in., 2009b). Jednym z największych projektów naukowych dotyczących zagadnień kalibracji radiometrycznej był projekt EUROSDR „Radiometric aspect of digital photogrametric images”, prowadzony w latach 2008-2011, w którym brały udział instytucje odpowiedzialne za gromadzenie i udostępnianiem danych przestrzennych z Niemiec, Hiszpanii, Finlandii, Francji, Danii, Wielkiej Brytanii i Szwajcarii, jednostki naukowe i firmy (Honkavaara i in., 2012a).

Planowanie i wykonywanie bloków zdjęć lotniczych

W fotografii lotniczej wykonywanej na potrzeby realizacji zadań fotogrametrycznych wiążących się z aktualizacją baz danych przestrzennych, jak również w tej wykonywanej za pomocą bezzałogowych statków powietrznych (BSP) z niskiego pułapu w przeróżnych celach dokumentacyjnych, nadal powszechnym sposobem fotografowania jest blok pionowych zdjęć, inaczej nazywany zespołem (Zhao i in., 2018; Chiabrando i in., 2017; Chen i in., 2016; Haala i Rothermel, 2012; Remondino i in., 2011; Honkavaara i in., 2009a). Od upublicznienia dokładnego sygnału GPS w 2000 roku, wprowadzenia cyfrowej fotografii lotniczej (1999) i technologii zintegrowanego orientowania sensorów (GNSS/IMU) zmieniła się forma planowania, realizacji i kontroli w czasie rzeczywistym nalotów fotogrametrycznych. Obecnie odbywają się one ze wsparciem techniki komputerowej, zarówno na etapie projektowania jak i wykonawstwa co pozwoliło zoptymalizować te prace zależnie od specyfiki zadania fotogrametrycznego (Tmušić i in., 2020; Pepe i in., 2018; Kurczyński, 2014; Schroth i in., 2008; Demirel i in., 2004). Ograniczono w ten sposób koszty prac naziemnych związanych z wykładaniem i pomiarem fotopunktów (Chen i in., 2016; Poręba, 2011; Kanga i in., 2008; Mostafa i Hutton, 2001), choć nadal jest to zalecane (Abdullah i in., 2013). Podniesiono również dokładność produktów fotogrametrycznych przez bezpośrednią rejestrację położenia środka rzutu kamery z wysoką precyzją w trakcie wykonania zdjęć. Umożliwia to bezpośrednie uzyskanie parametrów orientacji zewnętrznej (Poręba, 2011; Mostafa i Hutton, 2001) oraz wewnętrznej przez proces autokalibracji sensora w trakcie aerotriangulacji (Wegman, 2002). Ułatwieniem projektowania nalotów, zarówno w przypadku fotografii lotniczej jak i z wykorzystaniem BSP jest możliwość wykorzystania istniejących modeli wysokościowych – globalnych (SRTM, GDEM i ALOS) i lokalnych. W planowaniu nalotu fotogrametrycznego na rozległym obszarze pozwala to na zaprojektowanie lotu o stałej wysokości fotografowania w stosunku do powierzchni terenu i dzięki temu utrzymanie względnie stałej wartości rozdzielczości terenowej (Gandor i in. 2015; Schroth i in., 2008). W fotografii wykonywanej z BSP w celu wykonania szczegółowego modelu obiektu, umożliwia to dokładne zaprojektowanie pozycji wszystkich zdjęć z uwzględnieniem stałej odległości od obiektu i skierowania kamery pod odpowiednim kątem.

Kształt bloków zdjęć lotniczych zależy jest od realizowanego zadania, tj. od przebiegu granic obszaru fotografowania oraz konfiguracji rzeźby terenu. Przy założeniu regularnego kształtu obszaru podlegającego fotografowaniu, blok zdjęć przeważnie składa się z równoległych szeregów, złożonych z kolejnych zdjęć o dużym pokryciu, zwanym pokryciem podłużnym. W klasycznej fotografii lotniczej wynosi ono przeciętnie 60-70% długości boku zdjęcia równoległego do kierunku lotu (Zhao i in., 2018; Leberl, 2012; Honkavaara i in., 2009a; Wójcik, 1989). Zdjęcia z sąsiednich szeregów również się pokrywają i jest to pokrycie poprzeczne, które na potrzeby fotogrametrii było mniejsze niż podłużne - ustalone przeważnie w zakresie 25-40% długości boku zdjęcia na kierunku prostopadłym do kierunku lotu (Zhao i in., 2018; Demirel i in., 2004). Podobne wartości pokryć są stosowane nadal dla kamer cyfrowych ze względów ekonomicznych (Guntel i in., 2018), choć w wielu przypadkach stosuje się większe pokrycie podłużne przy zachowaniu standardowego pokrycia poprzecznego (Raizman, 2012). Przy realizacji nalotów specjalnych - w celach kalibracji kamer czy prowadzenia badań naukowych wybierany jest przeważnie regularny kształt bloków – kwadratowy bądź prostokątny. Nad obszarami miejskimi, stosuje się takie same, wysokie wartości pokrycia podłużnego i poprzecznego między zdjęciami (Mueller i Neumann, 2016; Ziobro, 2011; Chandelier i Martinoty, 2009; Kissiyar i in., 2008; Baz i in., 2007). Dla zdjęć wykonywanych na potrzeby rzeczywistej ortofotomapy (ang. termin true-orthophoto) zalecane są pokrycia poprzeczne i podłużne większe od 60% (Kurczyński, 2014). Wartości pokrycia podłużnego i poprzecznego związane są również z proporcjami boków matryc zastosowanych w konkretnych kamerach cyfrowych. Krótsze boki zdjęć wymagają większych pokryć. W wielkoskalowych projektach z zastosowaniem BSP na plan nalotu znaczny wpływ ma kształt i forma obiektu. Wyższe pokrycie między zdjęciami stosuje się także w celu kompensacji niestabilności ruchu BSP w trakcie lotu (Colomina i Molina, 2014) i dla stworzenia dokładnych modeli przestrzennych (Grenzdörffer i in., 2008), a czasami wynika to z wymogów oprogramowania fotogrametrycznego, na przykład wykorzystującego metodę – Structure from Motion, oznaczonej skrótem SfM (Westoby i in., 2012). Dla ortofotomap wykonywanych nad obszarami leśnymi metodą SfM są zalecane pokrycia nawet do 90%. W przypadku zastosowania wideo jako materiału źródłowego, z którego wydziela się poszczególne klatki pełniące funkcje kolejnych ekspozycji, pokrycie podłużne może osiągać wartości ponad 98% (Seifert i in., 2019).

Korelacja jako miara podobieństwa w fotogrametrii i teledetekcji

Jedną z najczęściej stosowanych w nauce miar do oceny siły związku dwóch zmiennych, w tym również w przetwarzaniu obrazów, jest korelacja (Kozak i in., 2012). Podobieństwo dwóch obrazów za pomocą korelacji może być określone przez korelację kształtu krzywych histogramów (podobieństwo kształtu i przebiegu) albo korelację obrazową uwzględniającą położenie pikseli na obrazach (powtarzalność par wartości tych samych pozycjach dwóch obrazów). W przetwarzaniu obrazów teledetekcyjnych korelacja obrazowa jest używana jako miara podobieństwa zakresów spektralnych/składowych barwnych (Vijayaraj i in., 2006), np. jako element analizy danych przed klasyfikacją (Acharya i in., 2018), analizy zniekształceń obrazu wynikających z rzeźby terenu (Rosu i in., 2015) czy referencji przestrzennej obrazów. Korelacja obrazowa jako etap obliczeń jest wykonywana podczas analizy głównych składowych czy analizy kanonicznej zbioru obrazów (Jensen, 2016). Analizę korelacji można również zastosować jako uśrednioną miarę dla wybranego obszaru do badań nad zmiennością cech odbiciowych pomiędzy kolejnymi terminami rejestracji danych. Przy tworzeniu optymalnych kompozycji barwnych ze zbioru zakresów spektralnych sceny wielospektralnej często wykorzystuje się współczynnik OIF (Optimal Index Factor) obliczany jako iloraz sumy korelacji przez sumę odchyleń standardowych trzech wybranych kanałów spektralnych, a wyrażający pojemność informacyjną kompozycji barwnej utworzoną z tych trzech kanałów (Ziliwu i in., 2018; Jensen, 2016; Patel i Kaushal, 2011; Chavez i in., 1984). W przypadku fotogrametrii korelację obrazową stosuje się do wyznaczania punktów wiążących przez porównanie odpowiadających sobie fragmentów obrazów jednej stereopary (Kurczyński, 2014; Gruber M., 2007; Kurczyński i Preuss, 2003; Honkavaara i in., 2012; Ackermann, 1984) lub do automatycznego wyznaczania położenia znaczków tłowych na skanach zdjęć analogowych w ramach ustalania parametrów orientacji wewnętrznej (Ravanbakhsh, 2004; Kersten i Haering, 1997; Ackermann, 1984). Ponadto korelacja obrazowa jest wykorzystywana do badania efektywności pansharpeningu, który jest metodą łączenia rozdzielczości zakresu panchromatycznego z wartościami radiometrycznymi zakresów spektralnych – otrzymujemy wówczas zakresy spektralne w rozdzielczości zakresu panchromatycznego (Hirschmugl, 2008; Aiazzi i in., 2007).

Poza teledetekcją i fotogrametrią technika korelacji cyfrowej (Digital Image Correlation – DIC) jest wykorzystywana w wykrywaniu zmian na powierzchni materiałów, przez porównanie obrazów z dwóch różnych okresów - stanu początkowego i bieżącego (Maas i Hampel, 2006; Chu i in., 1985). Zastosowania korelacji obrazowej związane są również z analizą obrazów w medycynie i astronomii oraz w innych dziedzinach wiedzy korzystających z technik obrazowych. Korelacja jest też stosowana w bazach danych przechowujących obrazy do odszukiwania zadanego wzorca (Stojanovic i in., 2007). Dopelnieniem tych zastosowań jest korelacja „wewnętrzna” obrazu, polegająca na korelowaniu wszystkich kolejnych wierszy lub kolumn obrazu między sobą (korelacja obrazów jednowymiarowych).

Metodyka badań

Aplikację Symulator Zdjęć Lotniczych (SZL) napisałem w systemie oprogramowania do przetwarzania danych przestrzennych TNTmips, w wersji z roku 2018. Wykorzystałem do tego wewnętrzny język skryptowy Spatial Manipulation Language (SML) i język XML (ang. Extensible Markup Language).

Ogólnie działanie oprogramowania SZL opiera się na wprowadzonych danych wejściowych, tj. znormalizowanego obrazu fragmentu powierzchni ziemi - oświetlonego pionowo i obserwowanego pionowo oraz cyfrowego modelu pokrycia powierzchni terenu. Symulowanie wykonywania pionowych zdjęć lotniczych układem optycznym o stożkowym polu widzenia przebiega według linii szeregów, których położenie wynika z przyjętych wielkości pokrycia podłużnego i poprzecznego między zdjęciami (i szeregami). Formowanie obrazu uwzględnia zmiany symulowanych zjawisk w czasie (np. zmiana pozycji słońca, zmiana położenia statku powietrznego według przyjętej jednostajnej prędkości poruszania). Zdjęcia formowane są z powierzchni elementarnych, które po procesie obliczeniowym tożsame są z pikselami. Wszystkie powierzchnie elementarne tworzyły obszar badawczy, w zasięgu którego przeprowadzane jest symulowanie bloku zdjęć lotniczych. Jako daną wejściową wykorzystywałem wartość odbicia spektralnego z fragmentu obrazu satelitarnego Landsat 8 w zakresie panchromatycznym i podstawowych zakresach spektralnych (niebieskim, czerwonym, zielonym i podczerwonym). Obraz poddałem kalibracji radiometrycznej, korekcji atmosferycznej i topograficznej, w wyniku czego – wartość odbitego promieniowania elektromagnetycznego została znormalizowana do obserwacji pionowej, przy braku oświetlenia bezpośredniego albo oświetleniu pionowym promieniowaniem bezpośrednim (w obu sytuacjach nie występuje cień). Dane o orientacji powierzchni elementarnej względem środka układu optycznego kamery i słońca obliczano na podstawie modelu SRTM.

Symulowanie wszystkich zjawisk towarzyszących procesowi fotografowania przez kamerę umieszczoną w poruszającym się statku powietrznym jest dość złożone i tworząc oprogramowanie SZL przyjąłem założenia, które ten proces uprościły.

W odniesieniu do obszarów badawczych przyjąłem następujące główne założenia: 1) lokalizacja w pobliżu rzutu orbity satelity Landsat 8 na powierzchnię ziemi, tak aby zminimalizować niewielki wpływ kąta obserwacji, 2) zminimalizowanie wpływu szorstkości terenu w obrębie powierzchni elementarnej starałem się osiągnąć przez wybór obrazu zarejestrowanego w terminie zbliżonym do rocznego minimum jakie osiąga kąt zenitalny słońca, 3) ze względów wydajności czasowej obliczeń przyjąłem wielkość obszaru badawczego jako milion powierzchni elementarnych w regularnym układzie 1000 na 1000, 4) liczbę obszarów ograniczyłem do czterech do zasięgu obszaru badawczego przycięłem fragmenty obrazu satelitarnego i odpowiadające im zasięgiem cyfrowe modele pokrycia terenu SRTM, 5) rzeczywista wielkość powierzchni elementarnej była zgodna z wymiarem piksela obrazu Landsat 8 w zakresie panchromatycznym oraz 6) ograniczyłem deniwelacje lokalne rzeźby terenu (wybór obszarów badawczych położonych na terenie Niżu Polskiego) – tak aby zniekształcenia geometryczne obrazu (te wynikające właśnie z lokalnych różnic wysokości) były mniejsze niż rozmiar powierzchni elementarnej.

Dla obliczeń jasności powierzchni elementarnych na zdjęciu lotniczym przyjąłem następujące założenia: 1) jasność początkową stanowiła znormalizowana wartość odbicia **sReflnorm** w określonym zakresie spektralnym odczytana ze skorygowanego obrazu satelitarnego, 2) wyznaczanie wskaźnika rozkładu funkcji dwukierunkowego odbicia spektralnego (**wskBRDF**) w danych warunkach oświetlenia i obserwacji w stosunku do środka rzutu kamery dla powierzchni elementarnej na podstawie modelu Li Sparse (Wanner, 1995), 3) wyznaczenie wartości współczynnika rozpraszania promieniowania w atmosferze (**aSCATT**) w danych warunkach oświetlenia i obserwacji w stosunku do środka rzutu kamery dla powierzchni elementarnej na podstawie zastosowanego modelu rozpraszania (Hall, 1954), 4) wyznaczenie wartości współczynnika winietowania w stosunku do środka rzutu układu optycznego dla powierzchni elementarnej (**eV**) z wykorzystaniem modelu winietowania naturalnego, 5) obliczenia wartości **wskBRDF** i **aSCATT** dla powierzchni elementarnej na kolejnych zdjęciach wykonywałem z uwzględnieniem zmian pozycji słońca w czasie, wykorzystując kalkulator słoneczny, założoną prędkość statku powietrznego do symulacji upływającego czasu, pozycję topograficzną powierzchni elementarnej na danym zdjęciu w powiązaniu z aktualnym położeniem kamery (środek rzutu/ognisko układu optycznego) w przestrzeni.

Ostateczną wartość szacowanego współczynnika odbicia **eRefl** dla powierzchni elementarnej z uwzględnieniem wszystkich modelowanych zjawisk obliczana była wg ogólnej formuły:

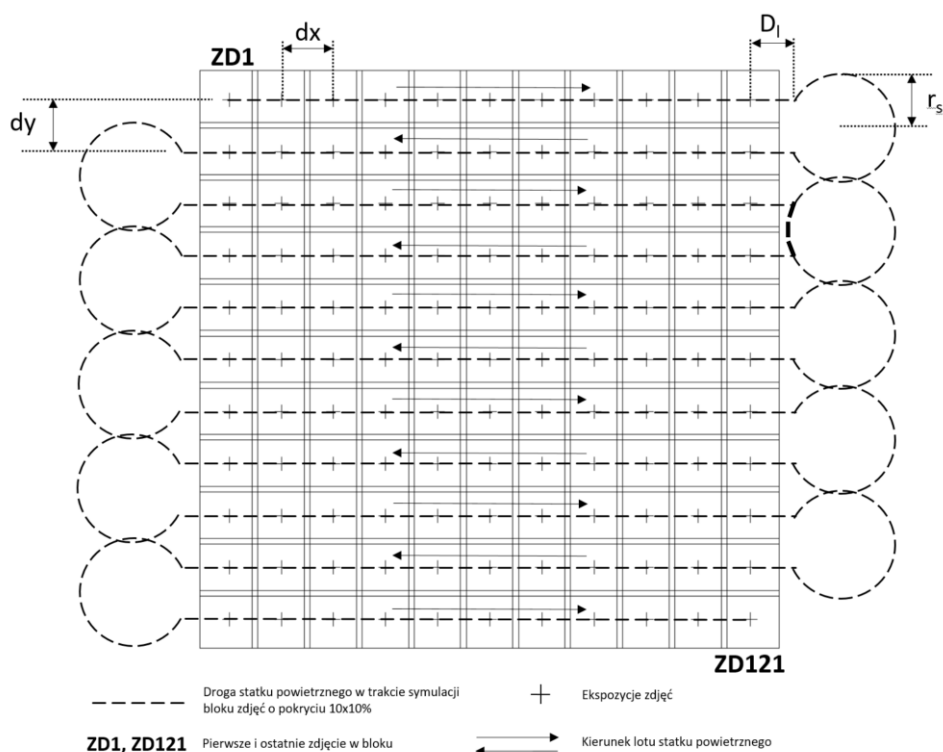
$$eRefl = eV * (sReflnorm * wskBRDF + aSCATT) \quad (1)$$

W zakresie definicji układu optycznego kamery lotniczej symulowanej w SZL przyjąłem następujące założenia: 1) przyjęcie stożkowego pola widzenia i prostoliniowego przebiegu promieni oraz rzutu środkowego w obliczeniach geometrycznych, 2) ogniskowa układu optycznego definiowana przez odniesienie do rozmiaru matrycy (liczba powierzchni elementarnych), stanowiła podstawę do obliczenia symulowanej wysokości fotografowania, 3) zastosowanie pionowości kamery w momencie ekspozycji zdjęcia, 4) przyjęcie jednolitego modelu winietowania naturalnego – dla wszystkich obliczeń objętych niniejszą monografią.

W zakresie formowania obrazu pojedynczego zdjęcia przyjąłem następujące założenia: 1) zdjęcie miało 100 pikseli (powierzchni elementarnych) na kierunku prostopadłym do kierunku poruszania się statku powietrznego, 2) zdjęcia mogły być kwadratowe lub prostokątne - w tym przypadku drugi bok zdjęcia, równoległy do kierunku ruchu kamery, skalowany był proporcją występującą w realnej macierzy kamery lotniczej, 3) jednolite parametry fotografowania dla wszystkich zdjęć w bloku, co w praktyce oznacza brak wykorzystania konwertera analogowo-cyfrowego, 4) założyłem typ migawki globalnej, czyli jednoczesny pomiar światła na wszystkich elementach światłoczułych macierzy kamery lotniczej – dla wszystkich powierzchni elementarnych objętych zdjęciem przyjmowałem taką samą pozycję słońca.

W zakresie zdefiniowania bloku zdjęć lotniczych przyjąłem następujące założenia: 1) szeregi były zorientowane równoleżnikowo, zgodnie z ułożeniem powierzchni elementarnych, 2) symulowałem tylko całe zdjęcia mieszczące się w obrębie obszaru badawczego, 3) kierunek wykonywania zdjęć w kolejnych szeregach był naprzemienny, najpierw z zachodu na wschód, następnie przeciwnie; 4) dla każdego bloku zdjęć lotniczych definiowałem pokrycie podłużne, tj. między kolejnymi zdjęciami w szeregu oraz pokrycie poprzeczne, tj. między zdjęciami sąsiednich szeregów, 5) przyjąłem brak turbulencji podczas lotu, jednostajny i prostoliniowy ruch kamery w statku powietrznym

przy stałej wysokości nad fotografowanym obszarem (dokładnie w stosunku do środka zdjęcia), bezwzględna wysokość lotu jest zatem zmienna, 6) do ogólnego czasu wykonania bloku zdjęć lotniczych jest doliczany sukcesywnie czas potrzebny do wykonania nawrotów statku powietrznego wg przyjętego modelu nawrotu. Ogólny schemat symulowania nalotu, przy założeniu pokrycia podłużnego i poprzecznego na poziomie 10%, przedstawia rycina 6.



Ryc. 6. Schemat drogi statku powietrznego w ramach symulacji bloku zdjęć lotniczych na przykładzie pokrycia poprzecznego i podłużnego równego 10%. Ilustracja w monografii została zamieszczona jako rycina 3-4.

W oprogramowaniu SZL wykorzystałem, zgodnie przyjętymi założeniami, następujące modele i wzory: 1) wyznaczanie geograficznego położenia powierzchni elementarnej, 2) wzory na pokrycie poprzeczne i podłużne w szeregu, 3) symulowanie czasu i odległości podczas ruchu statku powietrznego, 4) model szacowania pozycji Słońca obliczający kąt zenitalny i azymutalny na podstawie czasu i pozycji określonej na Ziemi 5) model szacowania wartości wielkości rozpraszania promieniowania w atmosferze dla zdjęć wykonywanych kamerami o stożkowym polu widzenia, 6) model szacowania rozkładu dwukierunkowego odbicia w danych warunkach oświetlenia i obserwacji, 7) model winietowania naturalnego, 8) modele wielomianowe trendu do charakterystyki rozkładów naświetlenia.

W oprogramowaniu SZL do badania podobieństwa zdjęć wykorzystałem następujące wzory: 1) wzory na podstawowe parametry statystyczne (średnia arytmetyczna, suma, odchylenie standardowe, wariancja, wartość maksymalna i minimalna), 2) wzór na korelację obrazową i 3) wzór na losowanie próbek k-elementowych w zbiorze n-elementowym bez powtórzeń.

Obliczenia dotyczące symulacji bloku zdjęć lotniczych składały się z obliczeń jasności powierzchni elementarnych obejmujących pojedyncze zdjęcia. Dla każdego zdjęcia symulowane są następujące składowe/postacie zdjęć:

- 1) zdjęcia pionowe oznaczane jako **zdPN**,
- 2) rozkłady wskaźnika BRDF w ramach zdjęcia oznaczane jako **wskBRDF**;
- 3) rozkłady składowej rozpraszania promieniowania w atmosferze w ramach zdjęcia na podstawie modelu Halla (1954), oznaczane jako **wskATM**;
- 4) rozkład winietowania w ramach ramki zdjęcia na podstawie modelu winietowania naturalnego oznaczany jako **wskV**;
- 5) zdjęcia z powierzchniowym efektem BRDF (odbicie spektralne skalowane wskaźnikiem BRDF) oznaczane jako **zdBRDF**;

- 6) zdjęcia z powierzchniowym efektem BRDF i winietowaniem (odbicie spektralne skalowane efektem BRDF i współczynnikiem winietowania) oznaczane jako **zdBRDFV**;
- 7) zdjęcia z powierzchniowym efektem BRDF i efektem rozpraszania promieniowania w atmosferze oznaczane jako **zdBRDFATM**;
- 8) zdjęcia z powierzchniowym efektem BRDF, efektem rozpraszania promieniowania w atmosferze oraz uwzględnieniem winietowania oznaczane jako **zdBRDFATMV**;
- 9) zdjęcia z powierzchniowym efektem BRDF skorygowane na podstawie szacowanego rozkładu wielomianowego wybranego rzędu oznaczane jako **korzdBRDF**;
- 10) zdjęcia z powierzchniowym efektem BRDFu skorygowane na podstawie rozkładu wielomianowego szacowanego dla samego wskaźnika BRDF oznaczane jako **korwskzdBRDF**;
- 11) obrazy zniekształceń powodowanych przez deniwelacje rzeźby terenu (liniowe przesunięcie liczone w metrach) oznaczane jako **zdDEN**;
- 12) obrazy zawierające fragmenty cyfrowego modelu pokrycia terenu (w zasięgu zdjęcia dane o rzędnej) oznaczane jako **zdDSM**;
- 13) obrazy zawierające fragmenty pochodnej DSM – nachylenia stoku (w zasięgu zdjęcia) oznaczane jako **zdDSMnach**;
- 14) obrazy zawierające fragmenty pochodnej DSM – wystawy stoku (w zasięgu zdjęcia) oznaczane jako **zdDSMwyst**.

Po obliczeniach składowych i różnych postaci zdjęć następują obliczenia rozkładów trendu powierzchniowego według przyjętego stopnia funkcji wielomianu. Nie dotyczą one obrazów skorygowanych, zawierających wielkości zniekształceń deniwelacji i pochodnych DSM. W szczególności obliczenia rozkładów odnoszą się do:

- 1) rozkładów naświetlenia zdjęć pionowych oznaczanych jako **rPN**;
- 2) rozkładów zmienności wskaźnika BRDF oznaczanych jako **rwsKBRDF**;
- 3) rozkładów zmienności wartości rozpraszania promieniowania w atmosferze oznaczanych jako **rwsKATM**;
- 4) rozkładów naświetlenia zdjęć z powierzchniowym efektem BRDF oznaczanych jako **rzdBDRDF**;
- 5) rozkładów naświetlenia zdjęć z powierzchniowym efektem BRDF i winietowaniem, oznaczanych jako **rzdBDRDFW**;
- 6) rozkładów naświetlenia zdjęć z powierzchniowym efektem BRDF i efektem rozpraszania promieniowania w atmosferze oznaczanych jako **rzdBDRDFATM**;
- 7) rozkładów naświetlenia zdjęć efektem BRDF, efektem rozpraszania promieniowania w atmosferze i winietowaniem oznaczanych jako **rzdBDRDFATMV**.

Za pomocą przygotowanego oprogramowania przeprowadziłem eksperymenty obliczeniowe polegające na symulacji wykonywania zdjęć lotniczych w blokach nad wyznaczonymi obszarami badawczymi, które objęły następujące zagadnienia:

- 1) wpływ ogniskowej układu optycznego kamery na podobieństwo zdjęć i rozkładów naświetleń,
- 2) wpływ zmienności warunków oświetlenia w ciągu roku na podobieństwo bloków zdjęć lotniczych,
- 3) wpływ zmienności dziennych warunków oświetlenia na podobieństwo bloków zdjęć lotniczych,
- 4) zróżnicowanie podobieństwa bloków różnych zakresach spektralnych,
- 5) podobieństwo rozkładów naświetleń dla wybranych modeli współczesnych szeregowo-pomiarowych kamer lotniczych,
- 6) wpływ zmiany stopnia funkcji wielomianu na podobieństwo trendów rozkładów naświetleń.

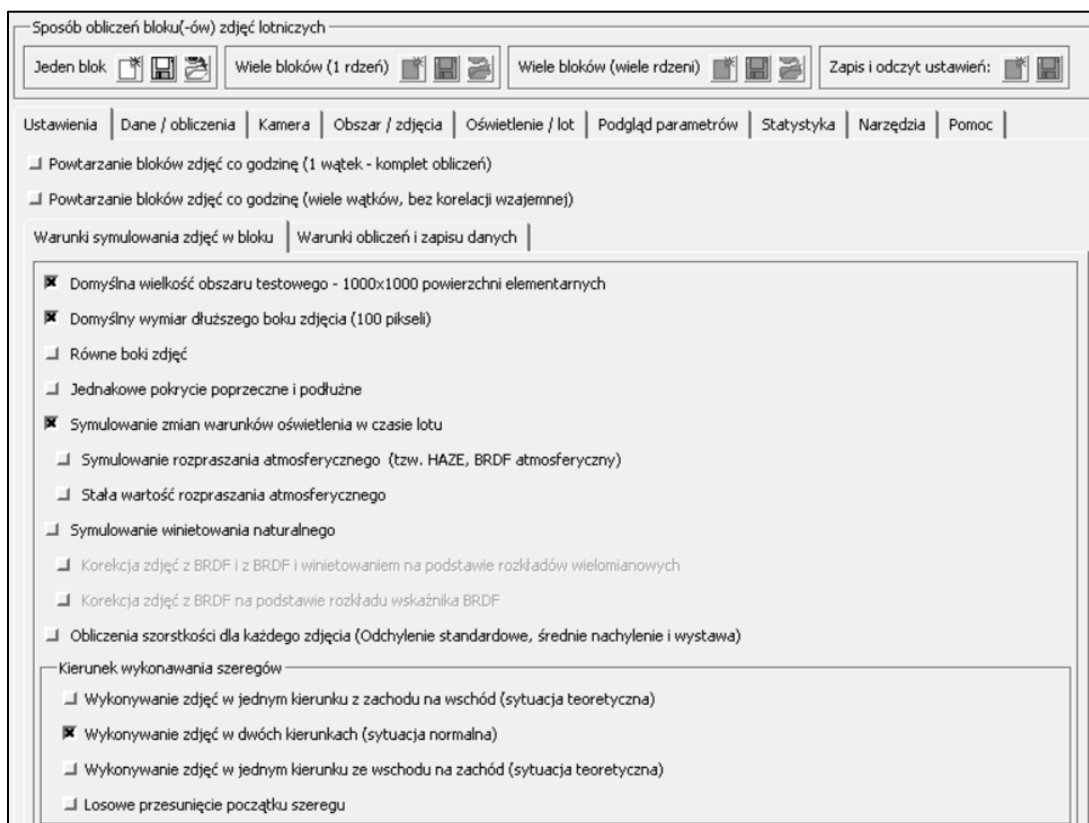
Aplikacja SZL

Wymiernym osiągnięciem realizacji podjętych badań jest aplikacja SZL, którą wykorzystałem do symulacji bloków zdjęć lotniczych i analizy ich podobieństwa miarą korelacji. W aspekcie programistycznym składa się ona z trzech części funkcjonujących jako odrębne pliki. Pierwszy plik zawiera kod definicji schematu interfejsu graficznego i zapisany jest z wykorzystaniem struktury języka znaczników (XML). Struktury te są obsługiwane przez środowisko oprogramowania TNTmips i pozwalają wyświetlać interfejs w takim samym stylu jak główny program (TNTmips). Druga część to skrypt w języku SML obsługujący interfejs graficzny, poprzez które realizowane jest definiowanie parametrów symulacji, uruchamianie skryptów realizujących obliczenia symulacji, funkcji wykonujących dodatkowe obliczenia, tworzących zestawienia statystyczne, realizujących archiwizację i zarządzanie zbiorami danych powstającymi podczas obliczeń. Trzecia część SZL to pojedynczy skrypt realizujący obliczenia symulacji bloku zdjęć oraz podstawowe obliczenia statystyczne, nazwany głównym skryptem

obliczeniowym. Skrypt ten, po połączeniu z plikiem tekstowym zawierającym warunki i parametry obliczeń, jest uruchamiany jako zadanie wsadowe.

Kod oprogramowania łącznie obejmuje ponad 20000 linii kodu. Zakres funkcjonalności oprogramowania jest na tyle szeroki, że wymaga tworzenia dokumentacji wg porządku czasowego wszystkich w prowadzonych zmian i poprawek. Obliczenia wykonane w ramach omawianej monografii zostały zrealizowane za pomocą wersji 3.4 skryptu obliczeniowego i wersji 2.0 skryptu interfejsu. Symulator jest uruchamiany w ramach komercyjnego oprogramowania TNTmips, w wersjach wydanych po roku 2018.

Interfejs graficzny, przedstawiony na rycinie 7, podzielilem na zakładki. Aplikacja zawiera dziewięć głównych zakładek: *Ustawienia*, *Dane/obliczenia*, *Kamera*, *Obszar/zdjęcia*, *Oświetlenie/lot*, *Podgląd parametrów*, *Statystyki*, *Narzędzia* i *Pomoc*. Pierwszych pięć zakładek obejmuje warunki, parametry konfiguracji i zakresu obliczeń symulowanego bloku zdjęć lotniczych. Pozostałe zakładki zawierają narzędzia statystyczne i służące do zarządzania strukturami danych tworzonych w trakcie symulacji.



Ryc. 7. Symulator zdjęć lotniczych - widok okna definicji parametrów nalotu zaraz po uruchomieniu SZL. Ilustracja w monografii została zamieszczona jako rycina 4-3.

W ramach zakładki *Ustawienia* istnieje możliwość zdefiniowania jednego z trzech sposobów prowadzenia obliczeń symulacji bloku zdjęć lotniczych w aspekcie wykorzystania zasobów komputera, ale przede wszystkim należy tu zdefiniować podstawowe warunki symulacji, wielkości obszaru i zdjęć, symulacji składowych formowania obrazu itd.

W zakładce *Dane/obliczenia* należy wskazać obiekty danych wejściowych do modelowania: dane o rzędnej powierzchni elementarnych w postaci modelu wysokościowego pokrycia terenu (DSM) i dane o odbiciu spektralnym dla powierzchni elementarnych w postaci fragmentu wybranego zakresu spektralnego sceny satelitarnej.

Poprzez zakładkę *Kamera* definiowane są parametry właściwości modelu kamery, która ma być wykorzystana w obliczeniach. Do zdefiniowania są dostępne ogniskowa, wymiary boków macierzy cyfrowej i ustawienie wykładnika funkcji cosinus dla modelu winietowania naturalnego. Istnieje możliwość wyboru predefiniowanych ustawień, przygotowanych na podstawie cech wybranych współczesnych lotniczych kamer szeregowo-pomiarowych

(najczęściej dotyczy pojedynczego obiektywu przeznaczonego do rejestracji obrazu panchromatycznego danego modelu kamery).

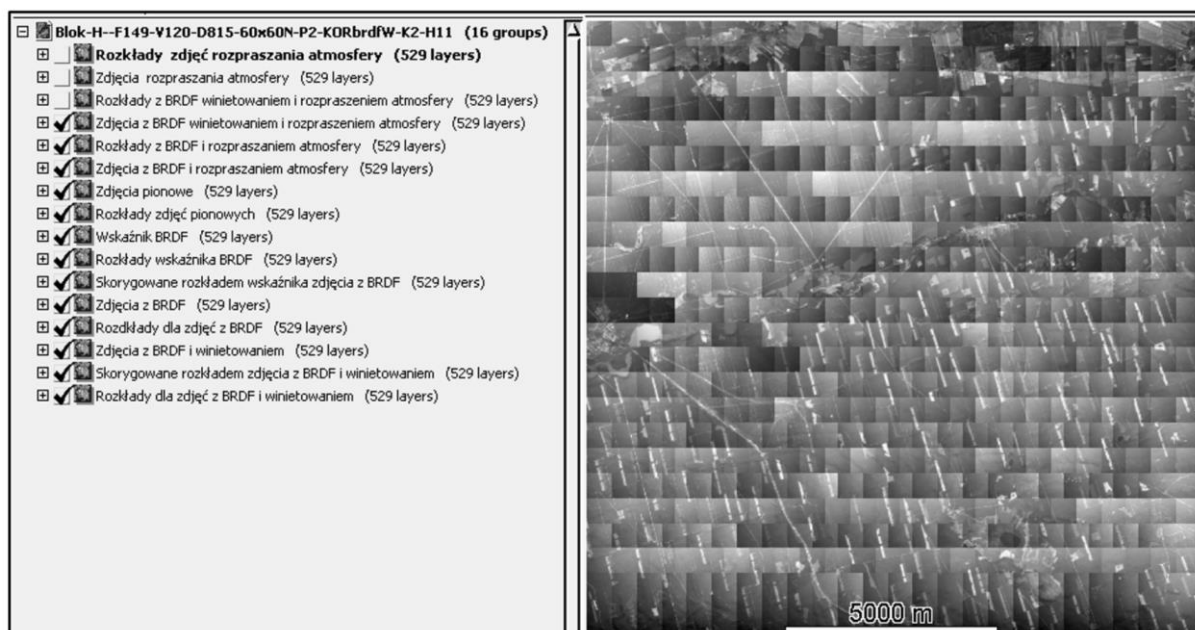
W ramach zakładki *Obszar/zdjęcia* definiowane są rozciągłość obszaru badawczego, rozdzielczość przestrzenna powierzchni elementarnej, pokrycie podłużne i poprzeczne oraz dostępna jest uproszczona statystyka bloku zdjęć (liczba szeregów, liczba zdjęć w szeregu, całkowita liczba zdjęć).

W zakładce *Oświetlenie/lot* zestawiono parametry określające warunki oświetlenia i lotu. Jako warunki oświetlenia definiowane są następujące parametry: południk środkowy strefy czasu lokalnego, rok, dzień i miesiąc obliczeń, czas rozpoczęcia fotografowania pierwszego bloku, czas rozpoczęcia fotografowania ostatniego bloku i kąty zenitalny i azymutalny słońca (dla pierwszego zdjęcia). W przypadku parametrów lotu statku powietrznego definiowana jest prędkość lotu, odległość do lotu przed nawrotem (po zakończeniu szeregu) i kąt pochylenia statku powietrznego podczas nawrotu.

Dodatkowe funkcje statystyczne usprawniające obliczenia umieściłem w ramach zakładki *Statystyka*. W zakładce *Narzędzia* zawarłem funkcje pozwalające na zarządzanie procesem obliczeniowym w aspekcie porządkowania skryptów obliczeniowych i powstających danych.

Poprzez interfejs SZL przygotowywany jest skrypt obliczeniowy zapisany w języku SML, następnie przygotowywany jest skrypt wykonawczy w języku XML. Skrypt wykonawczy wysyłany jest do wykonania. Kolejne zadania są kolejkowe, przy czym jednocześnie może być realizowanych kilkanaście zadań (zależnie od liczby wolnych wątków oraz obciążenia procesora głównego i ustawień procesu JOBS oprogramowania TNTmips).

Podstawowym efektem działania oprogramowania SZL jest symulacja pojedynczego bloku zdjęć lotniczych, co w postaci całościowej wizualizacji przedstawia rycina 8.

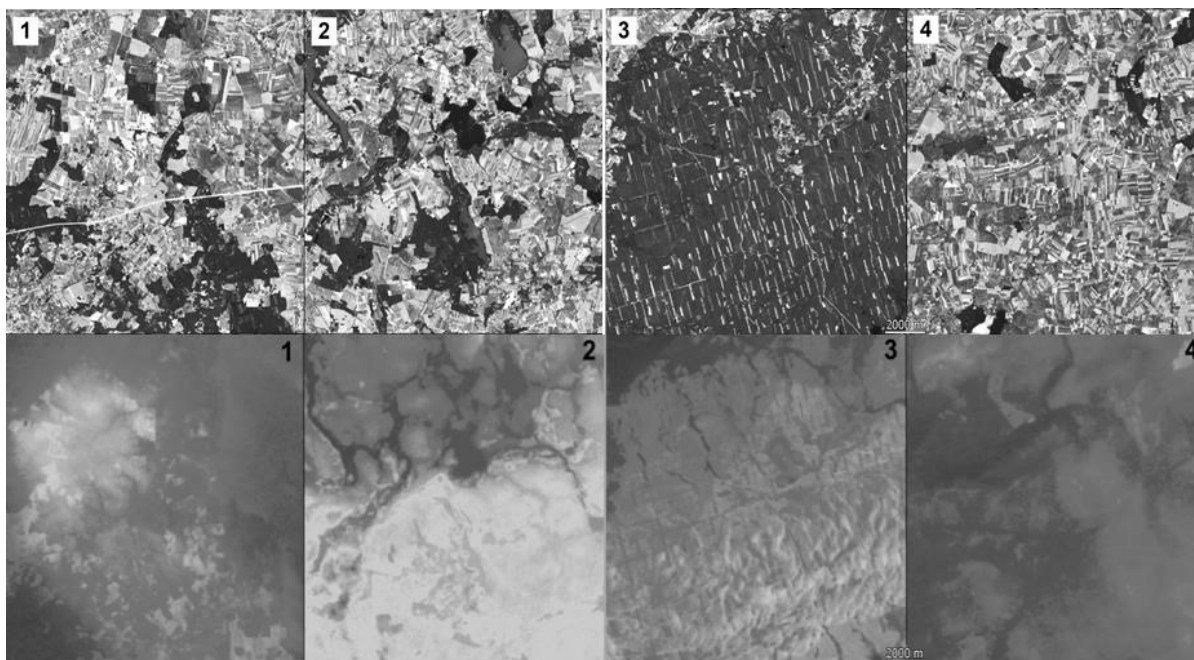


Ryc. 8. Przykład gotowego układu wyświetlania składowych/postaci zdjęć symulowanych w bloku przy zadanym pokryciu poprzecznym 60% i podłużnym 60% oraz prostokątnej ramce zdjęcia (16 grup po 529 obrazów, co łącznie daje 8464 obiekty). Ilustracja w monografii została zamieszczona jako rycina 4-5

Wszystkie dane obrazowe zapisywane są w formacie RVC, w najbardziej rozbudowanej wersji symulacji powstaje 55 plików. Oprócz danych obrazowych w trakcie obliczeń generowane są pliki tekstowe zawierające dane statystyczne, konfiguracyjne i kontrolujące czas (efektywność) obliczeń. W szczególności są to następujące informacje: 1) raport obliczeń, 2) pozycje środki rzutów i czas ekspozycji zdjęcia, 3) statystyki wybranych postaci/składowych zdjęć, 4) korelacja bloku, 5) korelacje między zdjęciami w bloku uporządkowane wg kolejności fotografowania, 6) zapis odbicia dla każdej powierzchni elementarnej i 7) informacje o czasach obliczeń i kopiowania kolejnych zdjęć (analiza wydajności danego komputera).

Obszary badawcze

Do symulacji bloków zdjęć lotniczych w ramach czterech obszarów badawczych wykorzystano skorygowane dane spektralne, które stanowiły fragmenty sceny satelitarnej, oraz modele wysokościowe pokrycia terenu wycięte z powszechnie i bezpłatnie dostępnych danych SRTM. Zróżnicowanie obszarów badawczych ocenilem pod względem cech spektralnych poprzez analizę statystyczną histogramów oraz pod względem cech rzeźby terenu mających istotny wpływ na zróżnicowanie BRDFu, w tym szczególnie wpływu rzeźby terenu na warunków obserwacji terenu przez kamerę. Na rycinie 9 w formie poglądowej przedstawiłem zakresy panchromatyczne i modele wysokościowe pokrycia terenu w zasięgu obszarów badawczych.



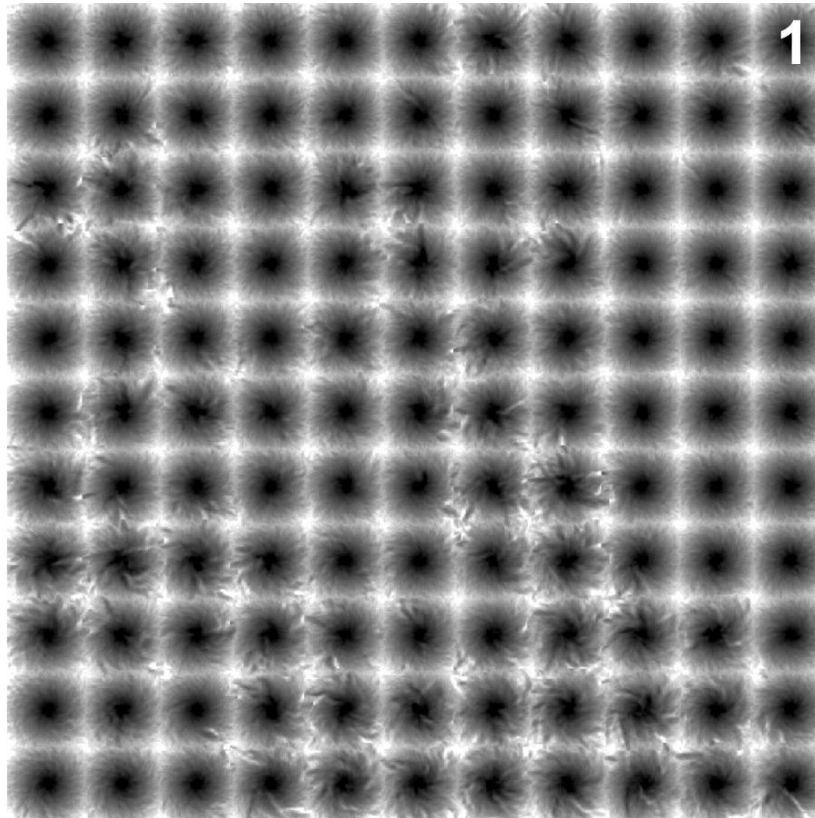
Ryc. 9. Zakresy panchromatyczne i modele wysokościowe pokrycia terenu dla obszarów badawczych. Ilustracja powstała jako montaż rycin 5-3 i 5-6.

Zróżnicowanie odbicia spektralnego w obrębie obszarów badawczych w zakresie panchromatycznym, najczęściej używanym jako dane wejściowe, obejmującym spektralnie zakres od 0,50 do 0,68 μm . Dla obszaru pierwszego, drugiego i czwartego średnia współczynnika odbicia była podobna i zmieniała się w zakresie od 0,073 do 0,075 (7,3–7,5%), natomiast odchylenie standardowe zawierało się w zakresie 0,017–0,021. W przypadku trzeciego obszaru średnia odbicia była niższa o około 0,01, a odchylenie standardowe mniejsze o około 0,008 i wynosiło 0,012, co bezpośrednio wynikało z wysokiego udziału obiektów o niskim odbiciu (głównie lasów iglastych).

Zróżnicowanie obszarów badawczych w zakresie rzeźby terenu obejmowało podstawowe charakterystyki, tj. parametry statystyczne wysokości bezwzględnej, nachylenia i wystawy stoków powierzchni elementarnych. Spośród czterech obszarów badawczych najwyżej przeciętnie były położone pierwszy i czwarty, co odpowiednio wyrażają wartości średnich wysokości – 99,7 i 99,4 m n.p.m. Najniżej położony był trzeci obszar badawczy – średnia wysokość nad poziomem morza to 58,8 m, czyli około 40 m niżej niż obszar pierwszy i czwarty. Największym względnym zróżnicowaniem wysokości charakteryzował się obszar drugi – 110 m, a najmniejszym obszar czwarty – 53 m. Przeciętne nachylenie było niewielkie i zmieniało się w zakresie od 1,8° – dla czwartego, do 3,2° – dla trzeciego obszaru badawczego. Zmienność wystawy stoku obliczonej dla modeli pokrycia terenu obszarów badawczych przedstawiono na rycinie 5.8. Przeciętna wystawa stoku obszarów badawczych zawierała się między 115° – dla pierwszego a 138° – dla trzeciego.

Symulator posiada zaimplementowanych przeze mnie wiele unikalnych funkcjonalności. Jedną z nich jest możliwości wizualizacji różnych mozaik dla obszarów badawczych. Na rycinie 10 zaprezentowałem mozaikę minimalnego kąta obserwacji powierzchni elementarnych dla pierwszego obszaru badawczego (efekt widzenia kamery i orientacji powierzchni elementarnej uwzględniającej nachylenie i wystawę stoku). Na pokazanej mozaice

wyraźnie widać nieregularności, stanowiące zaburzenia w stosunku do radialnego charakteru zmian kąta obserwacji kamery powiązane ze zróżnicowaniem rzeźby obszaru badawczego.

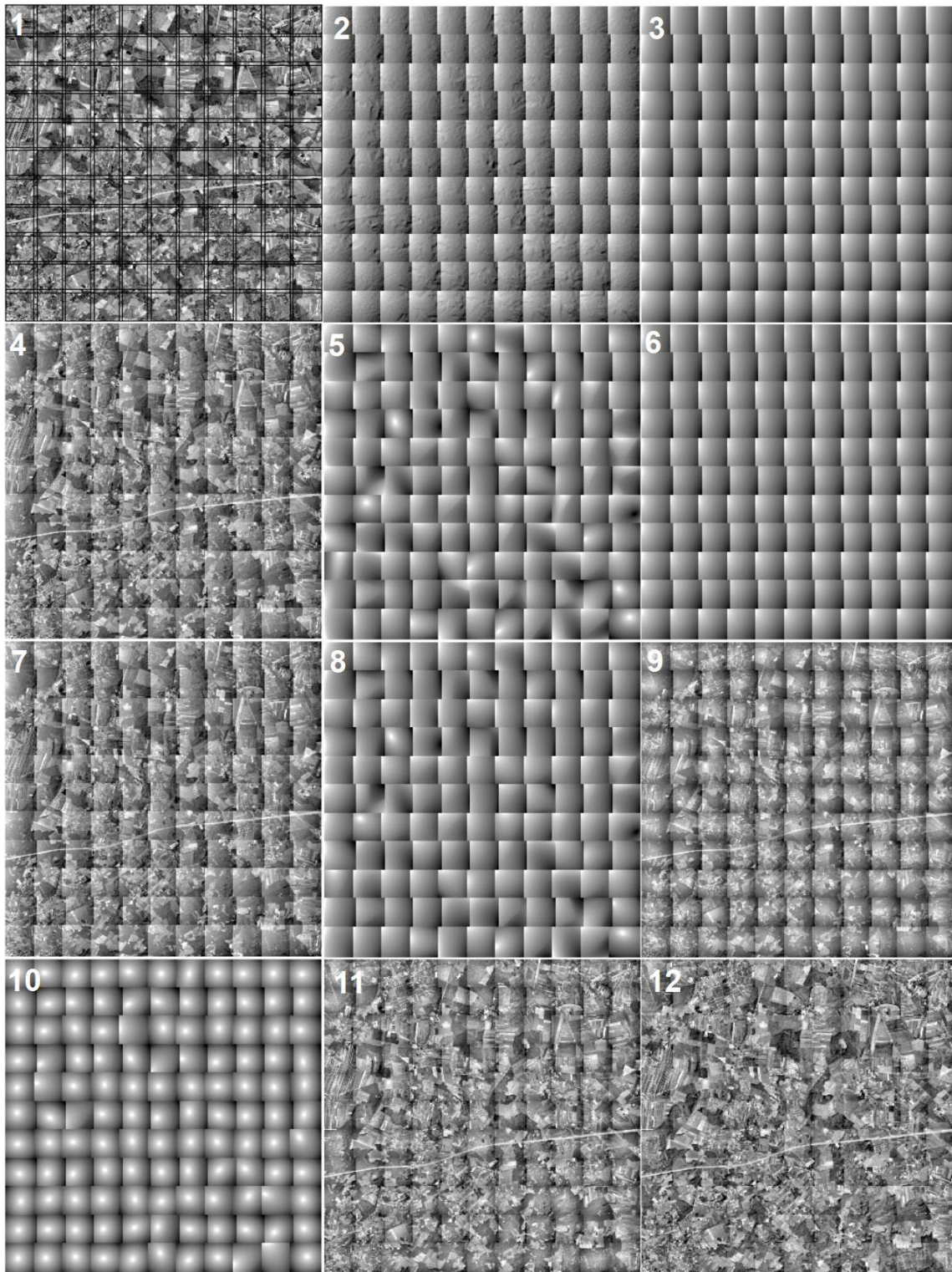


Ryc. 10. Symulacje bloków zdjęć lotniczych – mozaiki minimalnych wartości kątów obserwacji powierzchni elementarnych na obszarach badawczych przy pokryciu między zdjęciami 10×10%. Podstawowe parametry symulacji: ogniskowa kamery $f=50$ mm, kwadratowa ramka zdjęcia 100×100 pikseli, wysokość fotografowania proporcjonalna do ogniskowej i ramki zdjęcia. Ilustracja w monografii została zamieszczona jako rycina 5-12.

Wyniki badań

Analiza czynników wpływających na obraz terenu na zdjęciach lotniczych

Opracowany SZL uwzględniał cztery składowe formowania obrazu w ramach pojedynczego zdjęcia lotniczego: przestrzenny rozkład znormalizowanego współczynnika odbicia, zjawisko dwukierunkowego odbicia spektralnego (na podstawie modelu Li-Sparse), rozpraszanie atmosferyczne (model Halla) oraz winietowanie (model winietowania naturalnego). W ramach każdej symulacji zapisywano do 14 postaci pojedynczego zdjęcia zależnie od zakresu eksperymentu. **Taki rozbudowany zapis, uważam za ważne osiągnięcie w zakresie funkcjonalności SZL, bowiem pozwala na pogłębioną analizę zdjęć lotniczych bloku pod bardzo zróżnicowanym kątem z uwzględnieniem czynnika czasu.**



Ryc. 11. Składowe symulacji bloku zdjęć lotniczych przy pokryciu poprzecznym i podłużnym $10 \times 10\%$. Szczegółowe objaśnienia w tekście. Ilustracja w monografii została zamieszczona jako rycina 6-3.

Przykładem wyników pojedynczej symulacji bloku zdjęć lotniczych „w rozbiciu” na wybrane składowe formowania obrazu (brak jest jednakowej dla każdego zdjęcia składowej winietowania) zapisane w różnych postaciach zdjęć, rozkłady trendów szacowane funkcją wielomianową (brak jest rozkładów składowej atmosferycznej) oraz dwa bloki zdjęć skorygowanych jest rycina 11. Przykład dotyczy pierwszego obszaru badawczego, z ogniskową 90 mm, przy równym pokryciu poprzecznym i podłużnym $10 \times 10\%$, początku fotografowania wyznaczonym na godzinę 9:00, 22 czerwca, prędkości przelotowej 120 km/h i czasie łącznym fotografowania około 1,5 godziny. Pierwszy element ilustracji to blok zdjęć „pionowych” z rozkładem znormalizowanego współczynnika odbicia (zdPN), granice zdjęć

oznaczono czarnymi ramkami. Drugi blok to rozkłady wskaźnika dwukierunkowego odbicia spektralnego – wskBRDF – z widocznymi efektami cieni spowodowanych zmiennością rzeźby i pokrycia terenu. Trzecim elementem tej ilustracji jest blok zawierający rozkłady trendu (rwsKBRDF) oszacowane dla wskBRDF funkcją wielomianową drugiego rzędu. Czwarty blok to zdjęcia powstałe przez skalowanie współczynnika odbicia powierzchniowym efektem BRDF – zdBRDF. Granice między zdjęciami były wyraźnie widoczne, bez podkreślania warstwą geometryczną ramek (jak to uczyniłem dla zdPN). Piąty blok składa się z rozkładów trendu rzdBRDF oszacowanych dla zdjęć zdBRDF, charakteryzujących się nieregularnością przebiegów, od gradientów zbliżonych do radialnych, przez liniowe do wielokierunkowych. Szósty blok to „zdjęcia” składowej rozpraszania promieniowania w atmosferze – wskATM. Przy ogniskowej 90 mm rozkłady wskATM są podobne do trendów oszacowanych dla wskBRDF. Siódmy blok to zdjęcia stanowiące połączenie znormalizowanego współczynnika odbicia, efektów BRDF i rozpraszania w atmosferze – zdBRDFATM. Ósmy blok to rozkłady trendu – rzdBRDFATM – oszacowane dla zdjęć w postaci zdBRDFATM. Dziewiąty blok to zdjęcia zdBRDFATM skalowane rozkładem winietowania naturalnego – zdBRDFATMV, co stało się widoczne poprzez radialną formę rozkładów naświetlenia. Dziesiąty blok to rozkłady trendu oszacowane dla zdjęć zdBRDFATMV – wyraźnie widoczny był na nich radialny charakter związany z winietowaniem. Blok jedenasty to skorygowane zdjęcia korzdBRDF, obliczone na podstawie korekcji zdjęć zdBRDF obrazami trendów rzdBRDF. Ostatni blok, dwunasty, to zdjęcia korwskzdBRDF, uzyskane na podstawie korekcji zdjęć zdBRDF obrazami trendów rwsKBRDF oszacowanych tylko dla obrazów wskaźnika dwukierunkowego odbicia spektralnego – wskBRDF. Na zdjęciach bloku jedenastego bardziej widoczne są granice między zdjęciami w porównaniu ze zdjęciami składającymi się na blok dwunasty. **Wykazanie, że korekcja funkcjami trendów wyznaczonymi tylko dla rozkładów wskaźnika BRDF daje lepsze efekty niż korekcja funkcją trendu wyznaczoną na zdjęciu z treścią, należy uznać za jedno ważniejszych osiągnięć zawartych w omawianej monografii.**

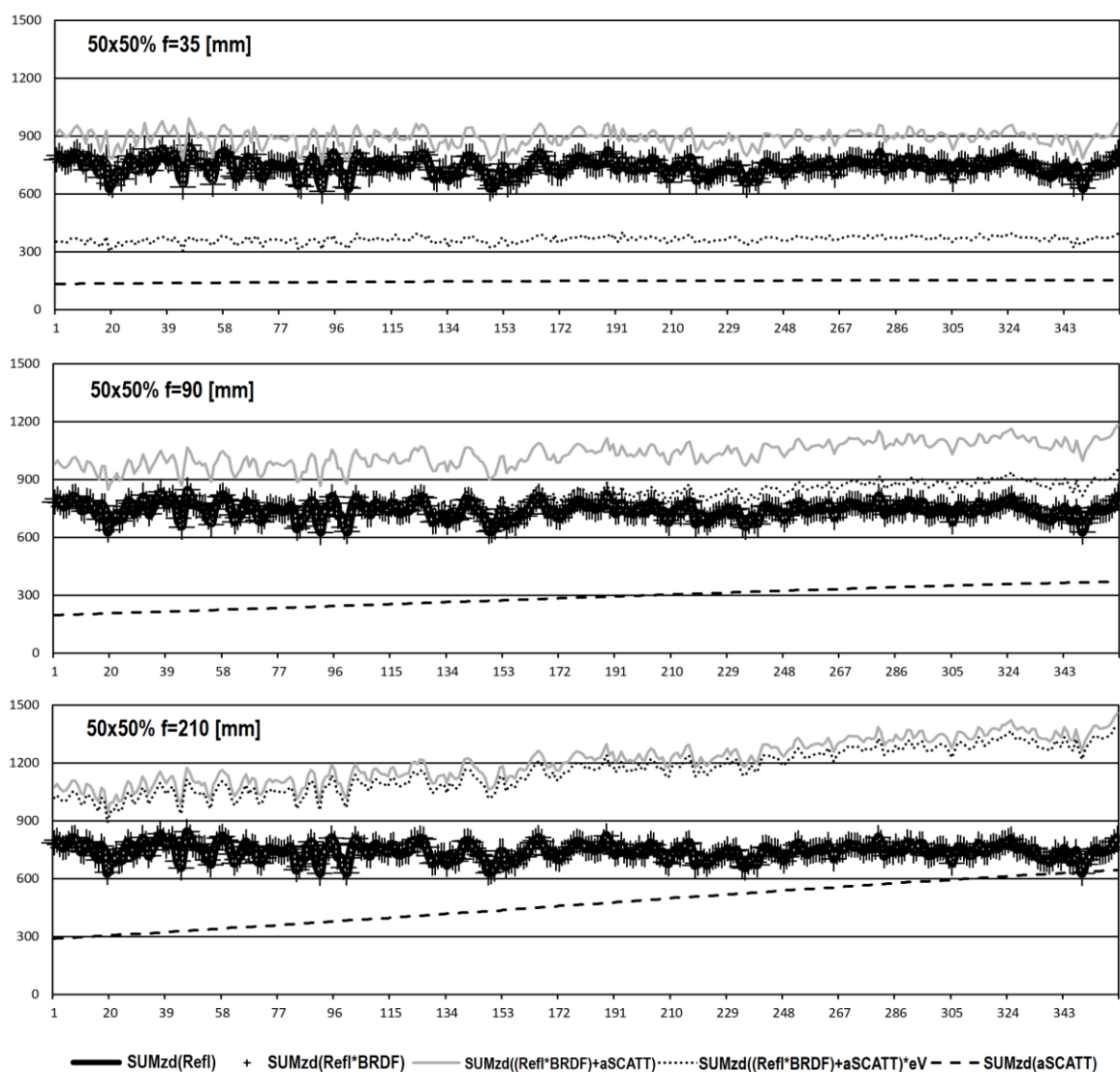
Analizę zróżnicowania pomiędzy składowymi formowania obrazu w czasie przeprowadziłem na podstawie sumowania wartości współczynnika odbicia dla każdego symulowanego zdjęcia w wybranych jego postaciach. W trakcie obliczeń symulacji dla każdego zdjęcia zliczałem i zapisywałem sumę wartości współczynnika odbicia dla wybranych postaci zdjęć – zdjęć pionowych, zdPN – $SUMzd(Refl)$, zdjęć z powierzchniowym efektem dwukierunkowego odbicia spektralnego, zdBRDF – $SUMzd(Refl \times BRDF)$, zdjęć z efektem BRDF i rozpraszaniem atmosfery, zdBRDFATM – $SUMzd(Refl \times BRDF + eSCATT)$, zdjęć z efektem BRDF, rozpraszaniem atmosfery i winietowaniem, zdBRDFATMV – $SUMzd((Refl \times BRDF + eSCATT) \times eV)$ oraz samego efektu rozpraszania promieniowania w atmosferze $SUMzd(aSCATT)$. Przy standardowej wielkości zdjęcia 100×100 powierzchni elementarnych dawało to 10 000 sumowanych wartości, co przy założeniu maksymalnej wartości współczynnika odbicia (1,0) - maksymalna suma z powierzchni elementarnych zdjęcia mogłaby osiągnąć wartość 10 000. Przy przeciętnych wartościach znormalizowanego współczynnika odbicia w zakresie panchromatycznym dla obszarów badawczych wynoszących około 0,06–0,07 sumy dla poszczególnych postaci zdjęć zmieniały się w zakresie od około 500 do 1400.

Na rycinie 12 zaprezentowałem sumy współczynnika odbicia dla wybranych postaci zdjęć według kolejności ich wykonywania w bloku, na przykładzie czwartego obszaru badawczego, przy pokryciu poprzecznym i podłużnym $50 \times 50\%$, trzech wielkości ogniskowej: 35, 90 i 210 mm, co oznaczało odpowiednio wysokości fotografowania na poziomie 528, 1346 i 3142 m. Przebieg odpowiadających sobie wykresów sum był bardzo podobny co do kształtu, bowiem zdjęcia, niezależnie od ogniskowej, a przy tym samym pokryciu między zdjęciami, zgodnie z przyjętymi założeniami dla symulacji, obejmowały zawsze ten sam fragment powierzchni terenu.

Przedstawione wykresy dla sum $SUMzd(Refl)$ – oznaczone czarną grubą linią i dla sum $SUMzd(Refl \times BRDF)$ – czarnymi krzyżykami były bardzo zbliżone do siebie w przebiegu dla wszystkich przypadków ogniskowej, co wynikało z niewielkiego zróżnicowania rzeźby terenu czwartego obszaru badawczego, a co miało bezpośredni wpływ na zróżnicowanie dwukierunkowego odbicia spektralnego. Powyższe stwierdzenie można przenieść na pozostałe obszary badawcze, w obrębie których zróżnicowanie rzeźby terenu – w kontekście wpływu na obraz – było bardzo podobne i generalnie wywierało niewielki wpływ na zróżnicowanie relacji $SUMzd(Refl)$ i $SUMzd(Refl \times BRDF)$.

Wykresy składowej atmosferycznej $SUMzd(aSCATT)$, oznaczone linią przerywaną, wykazywały wzrost wartości początkowej i zwiększenie przyrostu sum dla kolejnych zdjęć wraz ze wzrostem ogniskowej (i związanej z nią wysokości fotografowania). Wynikało to bezpośrednio ze zwiększenia wysokości fotografowania wraz ze wzrostem wartości ogniskowej.

Składowa rozpraszania atmosferycznego stanowiła istotny składnik w całkowitej ilości energii symulowanej/rejestrowanej w ramach pojedynczego zdjęcia, zwłaszcza dla zdjęć symulowanych przy dłuższych ogniskowych. Biorąc pod uwagę skrajne sytuacje objęte – pierwszą, związaną z krótką ogniskową (35 mm) i niewielką wysokością fotografowania (528 m) przy początku fotografowania bloku, oraz drugą, związaną z długą ogniskową (210 mm) i dużą wysokością fotografowania (3142 m) oraz końcem fotografowania (przy pokryciu 50%) – należy stwierdzić, że SUMzd(aSCATT) stanowił odpowiednio około 15 i 40% całkowitej energii docierającej do układu optycznego w ramach zdjęcia. Podane wielkości należy jednak traktować orientacyjnie, głównie ze względu na przyjęte założenia działania Symulatora oraz stałość parametrów modelu rozpraszania, poza wysokością, dla wszystkich prowadzonych symulacji.

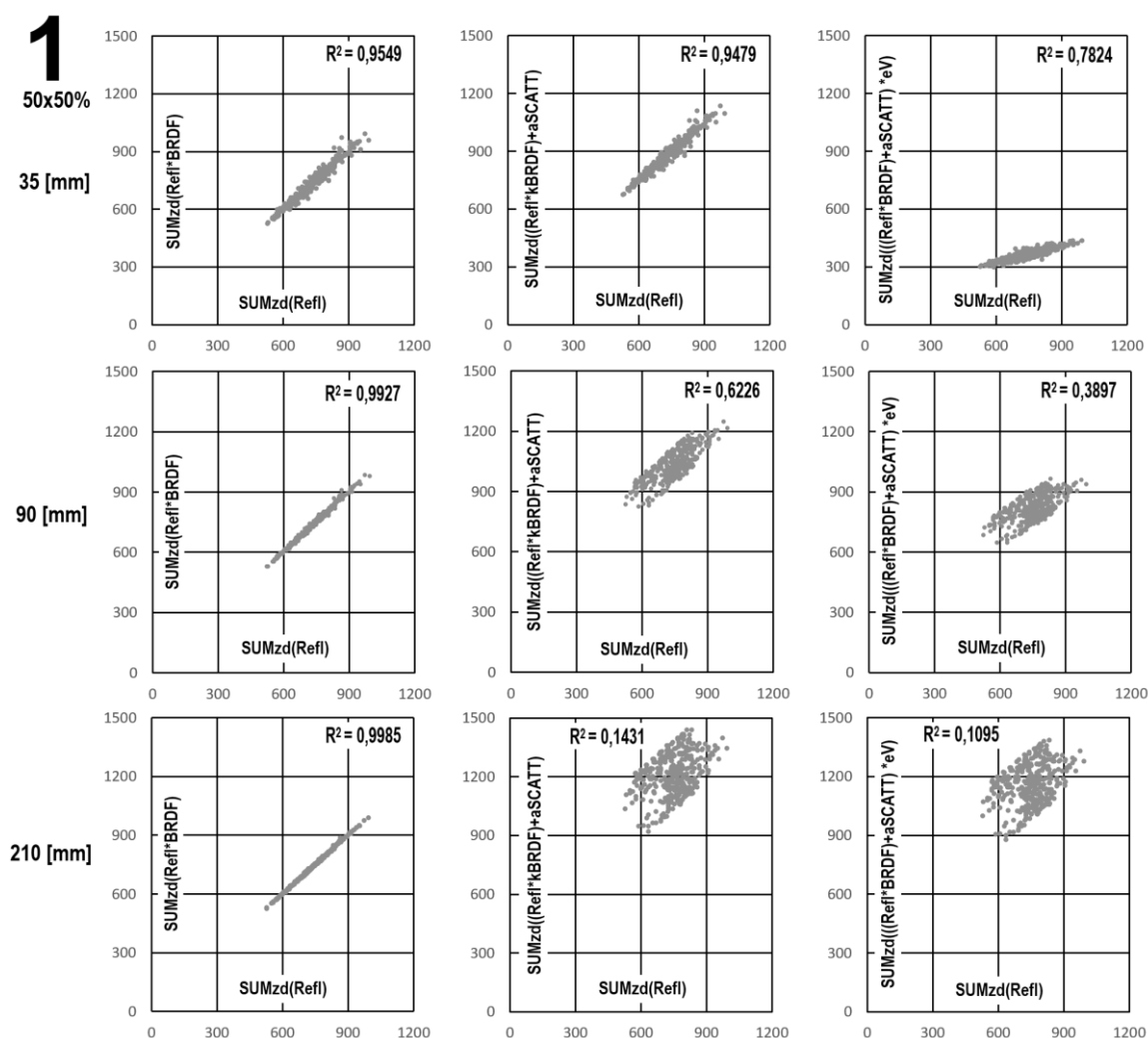


Ryc. 12. Zróżnicowanie sum wybranych składowych formowania obrazu i postaci zdjęć w zakresie panchromatycznym na podstawie symulacji bloków zdjęć dla czwartego obszaru badawczego, przy pokryciu podłużnym i poprzecznym równym 50%, dla trzech ogniskowych: 35, 90 i 210 mm. Wykresy przedstawiają sumy wartości współczynnika odbicia pięciu postaci kolejnych zdjęć w symulacji (kolejności tej odpowiada numeracja etykiet osi poziomej; oddzielają one następujące po sobie szeregi od siebie). Początek fotografowania – 9:00; prędkość – 120 km/h; czas trwania nalotu – 2,59 godziny. Ilustracja w monografii została zamieszczona jako rycina 6-5.

Winiotowanie jako czynnik formujący obraz wpływa na obniżenie ilości energii docierającej do płaszczyzny zdjęcia wraz ze wzrostem odległości od jego środka (radialny spadek jasności ku krawędziom zgodny z funkcją cosinus). W przypadku ogniskowej 35 mm wykres $SUMzd((Ref \times BRDF + aSCATT) \times eV)$, oznaczony linią kropkowaną, położony był nieco powyżej wartości 300, co wynikało z bardzo dużego wpływu winietowania i związanego z tym spadku sumy jasności na całym zdjęciu. W przypadku ogniskowej 90 mm spadek rejestrowanej jasności spowodowanej winietowaniem odpowiada mniej więcej wzrostowi wywołanemu efektem rozpraszania

promieniowania w atmosferze (aSCATT), dlatego wykresy $SUMzd((Ref\!l \times BRDF + aSCATT) \times eV)$, przebiegały na poziomie wykresów sum $SUMzd(Ref\!l)$ i $SUMzd(Ref\!l \times BRDF)$. Dla ogniskowej 210 mm winietowanie miało nieduży wpływ na spadek jasności ze względu na ograniczenie pola widzenia przez długą ogniskową (cosinusowy charakter tego czynnika), stąd wykresy $SUMzd((Ref\!l \times BRDF + aSCATT) \times eV)$ – linia kropkowana – i $SUMzd((Ref\!l \times BRDF + aSCATT))$ – linia szara – przebiegają na niemal tym samym poziomie.

Oddzielny zapis różnych postaci zdjęć pozwolił mi na analizę siły zależności pomiędzy składowymi formowania obrazu, w szczególności pomiędzy $SUMzd(Ref\!l)$ i $SUMzd(Ref\!l \times BRDF)$, $SUMzd(Ref\!l)$ i $SUMzd(Ref\!l \times BRDF + aSCATT)$, $SUMzd(Ref\!l)$ i $SUMzd((Ref\!l \times BRDF + aSCATT) \times eV)$. W monografii taką analizę przeprowadzono dla czterech obszarów badawczych, trzech ogniskowych oraz dwóch wielkości pokryć. Przykład zestawienia takich zależności dla pokrycia podłużnego i poprzecznego 50x50% dla pierwszego obszaru badawczego przedstawiłem na rycinie 13. Siłę zależności wyraziłem poprzez wartość korelacji dwóch zmiennych (wyznaczaną w programie Excel).



Ryc. 13. Zależności pomiędzy $SUMzd(Ref\!l)$ i $SUMzd(Ref\!l \times BRDF)$, $SUMzd(Ref\!l)$ i $SUMzd(Ref\!l \times BRDF + aSCATT)$, $SUMzd(Ref\!l)$ i $SUMzd((Ref\!l \times BRDF + aSCATT) \times eV)$ dla pierwszego obszaru badawczego, trzech przypadków ogniskowej (35, 90 i 210 mm) i pokrycia między zdjęciami wynoszącego 50×50%; początek fotografowania – 9:00; prędkość – 120 km/h, czas trwania nalotu – 2,59 godziny. Ilustracja w monografii została zamieszczona jako rycina 6-10.

Stwierdziłem, iż zależność pomiędzy $SUMzd(Ref\!l)$ i $SUMzd(Ref\!l \times BRDF)$ wykazywała silny liniowy charakter dla wszystkich przypadków ogniskowych i wielkości pokryć między zdjęciami, co potwierdzały uzyskane wielkości współczynnika korelacji, większe od 0,9. Najsilniejsza zależność ujawniała się w przypadkach najdłuższych ogniskowych (210 mm), co wyrażały najwyższe współczynniki korelacji R^2 równe niemal jedności, niezależnie od wielkości pokrycia i obszaru badawczego. Dla dłuższych ogniskowych, od 210 mm, siła zależności byłaby jeszcze

większa, ze względu na coraz bardziej zbliżone do pionowego „widzenie” kamery i słabszy wpływ zjawiska BRDF. Zauważalne zwiększenie rozrzutu punktów na wykresach zależności $SUMzd(Refl)$ i $SUMzd(Refl \times BRDF)$ następowało wraz ze spadkiem długości ogniskowej z 90 do 35 mm, co wiązało się ze wzrostem kąta obserwacji na przekątnej z 65 do 117°, a bezpośrednio wynikało ze wzrostu wpływu zjawiska BRDF na zróżnicowanie współczynnika odbicia. Zaobserwowałem, że kolejna analizowana zależność pomiędzy $SUMzd(Refl)$ i $SUMzd(Refl \times BRDF + aSCATT)$ nie wykazywała tak silnego charakteru liniowego jak zależność pomiędzy $SUMzd(Refl)$ i $SUMzd(Refl \times BRDF)$. Zwiększenie rozrzutu punktów na wykresach następowało wraz ze wzrostem wielkości ogniskowej, czyli przeciwnie niż w przypadku poprzednio opisanej zależności między $SUMzd(Refl)$ i $SUMzd(Refl \times BRDF)$. Przyczyną wzrostu rozproszenia punktów na wykresach (środkowa kolumna) był wpływ efektu rozpraszania promieniowania w atmosferze, zmiennego w czasie symulacji. Ze względu na sposób działania SZL, czyli powiązanie wysokości fotografowania z ogniskową przy zachowaniu jednakowego obszaru/wymiaru zdjęcia, oznaczało to wzrost wysokości fotografowania wraz z długością stosowanej ogniskowej.

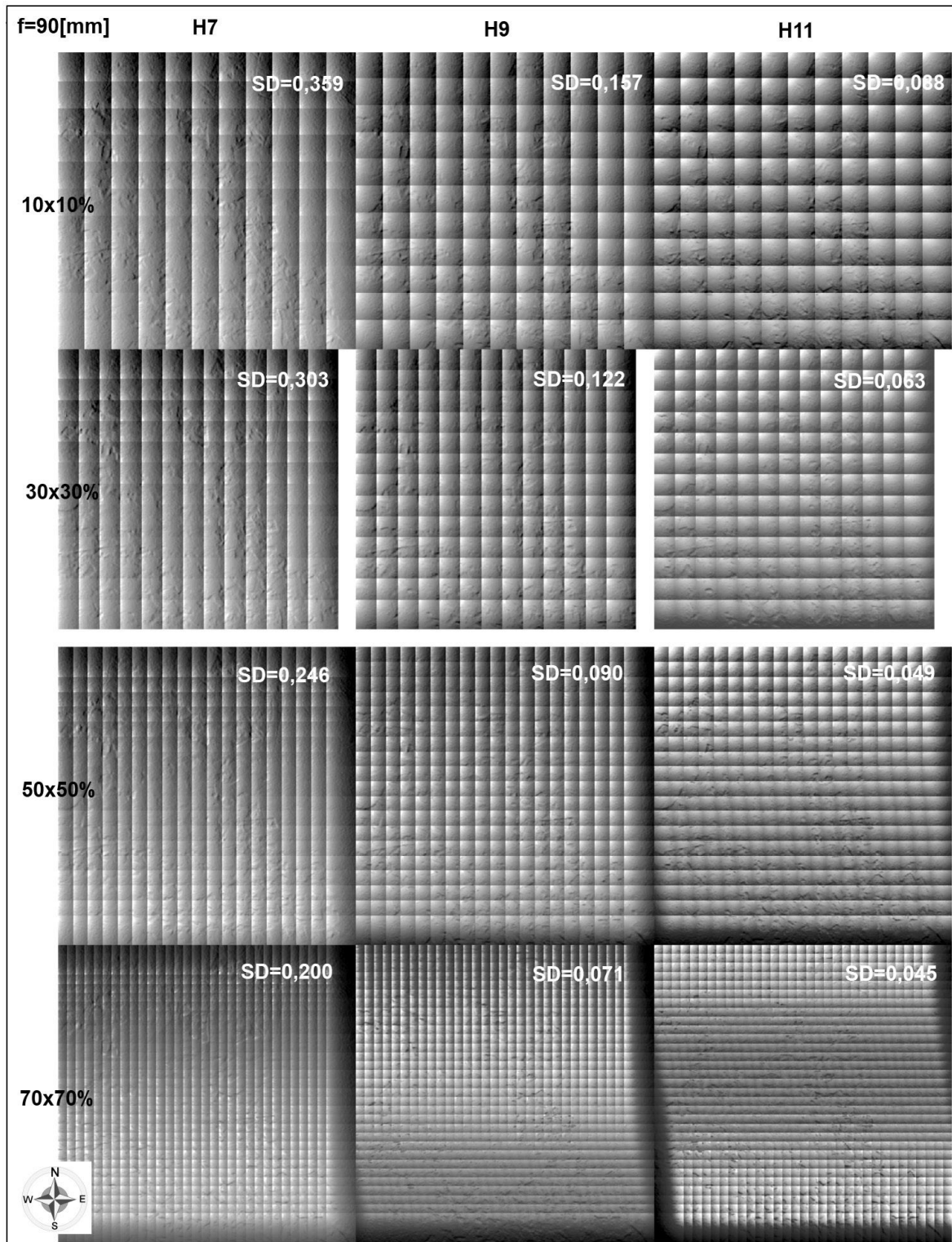
W konsekwencji dla dłuższych ogniskowych efekt rozpraszania atmosferycznego był bardziej widoczny w omawianej zależności. Drugim czynnikiem zwiększającym rozrzut punktów był dłuższy czas fotografowania bloku zdjęć, wynikający ze zwiększenia pokrycia poprzecznego (między szeregami), w opisywanych przypadkach – do 50%. Zależności pomiędzy $SUMzd(Refl)$ i $SUMzd(Refl \times BRDF + aSCATT)$ oraz $SUMzd(Refl)$ i $SUMzd((Refl \times BRDF + aSCATT) \times eV)$, jeśli chodzi o rozrzut i kształt chmur punktów na wykresach, były do siebie dość podobne. Czynnikiem zmieniającym położenie wykresów dla zależności $SUMzd(Refl)$ i $SUMzd((Refl \times BRDF + aSCATT) \times eV)$ było winietowanie.

Warunki obserwacji, inne na każdym kolejnym zdjęciu (co wynika ze zmiany zróżnicowania wysokościowego rzeźby i rodzajów pokrycia terenu), i oświetlenia, zmienne w czasie wykonywania symulacji nalotu, dla powierzchni elementarnej miały bezpośredni wpływ na wskaźnik dwukierunkowego odbicia (zapisywany jako $wskBRDF$). Wskaźnik ten charakteryzuje zmianę postrzegania jasności/współczynnika odbicia, powierzchni elementarnej w stosunku do znormalizowanych (pionowych) warunków oświetlenia i obserwacji, innymi słowy – w relacji do danych wejściowych pozyskanych ze skorygowanego obrazu satelitarnego. Jego wartości należy rozpatrywać jako zróżnicowanie w stosunku do punktu centralnego zdjęcia i w postaci $wskBRDF$ nie jest powiązany ze współczynnikiem odbicia. **Przygotowane oprogramowanie SZL pozwoliło wizualizować i analizować zjawisko BRDF w różny sposób. Jednym z takich sposobów jest wizualizacja zmienności $wskBRDF$ w postaci mozaiki wartości maksymalnych dla powierzchni elementarnych.**

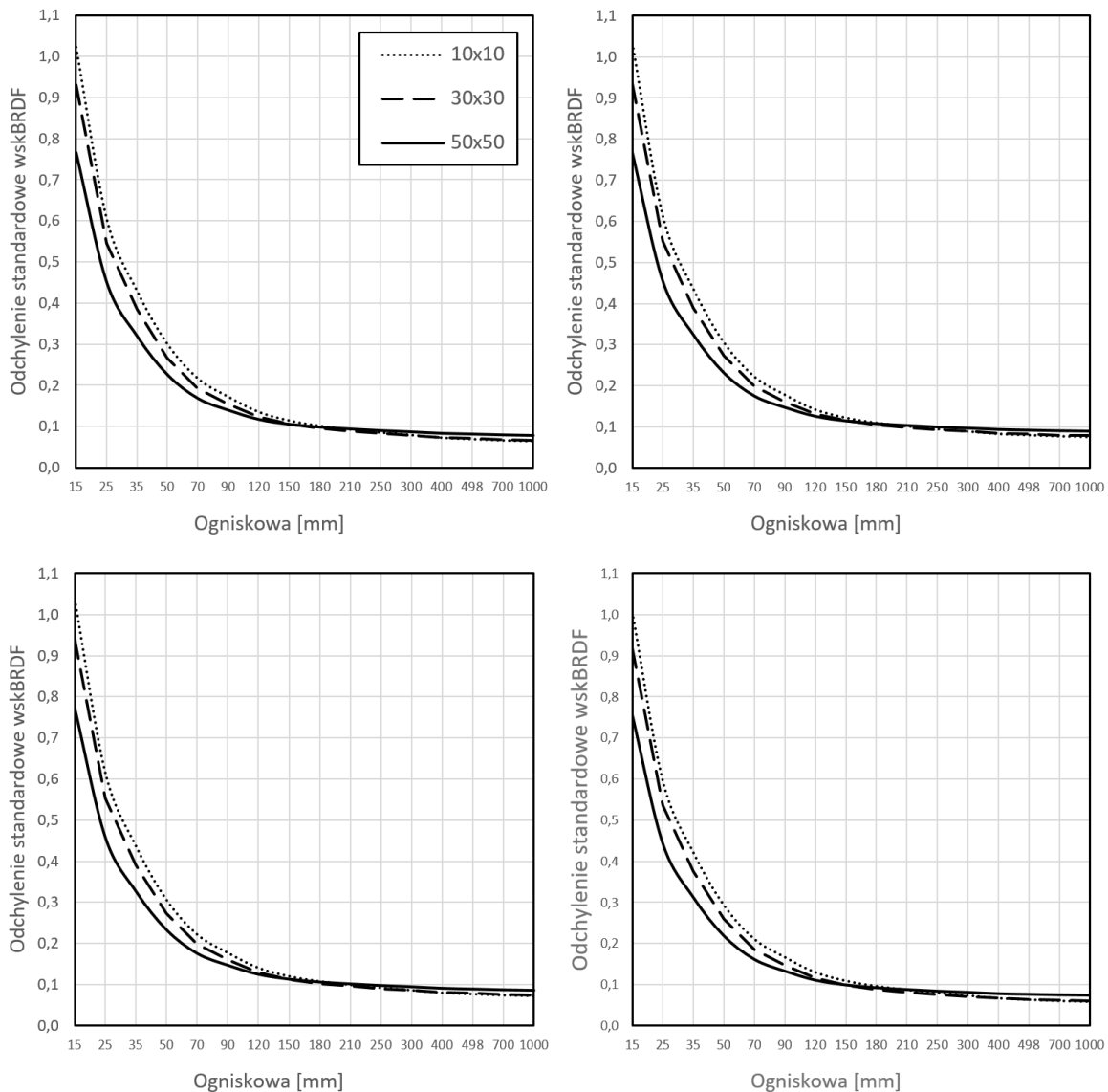
Na rycinie 14 przedstawiłem obrazy mozaik maksymalnych wartości $wskBRDF$ powierzchni elementarnych drugiego obszaru badawczego wykonane jednakową ogniskową 90 mm, przy zmiennym pokryciu poprzecznym i podłużnym w bloku, od 10 do 70%, i różnych godzinach rozpoczęcia fotografowania – 7:00, 9:00 i 11:00 (symulacje dotyczyły 22 czerwca). Zróżnicowanie pomiędzy obrazami mozaik maksymalnej wartości $wskBRDF$, pokazuje jak godzina rozpoczęcia fotografowania i czas trwania nalotu wpływają na: 1) orientację rozkładu BRDF na pierwszych zdjęciu i ostatnim, 2) na zakres tej zmiany oraz 3) na różnicę pomiędzy wartościami maksymalnymi $wskBRDF$ w strefach obserwacji dosłonecznej i odsłonecznie (co ma wizualny swój wyraz w wyrazistości granic między zdjęciami (nakładania obrazu jednego zdjęcia na drugie). Spadek wyrazistości tych granic można zauważyć dla mozaik o pokryciu podłużnym i poprzecznym równym 70%, symulowanych o godzinie 9:00 i 11:00, w czasie bliższym górowaniu słońca. W przypadku symulacji zaczętej o godzinie 9:00 dotyczyło to około 1/3 zdjęć południowej części obszaru badawczego, a w przypadku symulacji zaczętej o godzinie 11:00 – 1/3 zdjęć ze środkowej części obszaru badawczego.

Do wyrażenia zróżnicowania między mozaikami maksymalnych wartości $wskBRDF$ powierzchni elementarnych wykorzystałem miarę średniego odchylenia standardowego (SD) dla rastra mozaik. Stwierdziłem, iż spadek wartości odchylenia standardowego mozaik maksymalnej wartości $wskBRDF$ dla drugiego obszaru badawczego prezentowanych na rycinie 14 następował wraz ze wzrostem pokrycia poprzecznego i późniejszą godziną fotografowania. Spadek wartości SD, przy wzroście pokrycia między zdjęciami, ale tej samej godzinie rozpoczęcia fotografowania, był mniejszy niż w przypadku mozaik wykonywanych co dwie godziny po sobie i jednakowym pokryciu. Analizując przypadki spadku SD, przy tej samej godzinie początkowej fotografowania i wzrostu pokrycia między zdjęciami (pionowo), największy spadek zanotowano dla bloków symulowanych o godzinie 9:00 – SD zmniejszyło się 2,2 razy pomiędzy pokryciem 10-procentowym a 70-procentowym, analogicznie najmniejszy spadek – o 1,7 raza dla symulacji rozpoczętych o godzinie 7:00 i 1,95 raza dla symulacji rozpoczętych o godzinie 11:00. Z praktycznego punktu widzenia najłatwiejsza korekcja wpływu dwukierunkowego odbicia spektralnego na

zdjęciach lotniczych byłaby zatem dla bloku, którego fotografowanie rozpoczynałoby się o godzinie 11:00, z pokryciem poprzecznym i podłużnym wynoszącym 70% (lub podobnym).



Ryc. 14. Symulacje bloków zdjęć lotniczych – mozaiki maksymalnej wartości wskaźnika BRDF (wskBRDF) dla drugiego obszaru przy czterech ustawieniach pokryć między zdjęciami (poprzeczne=podłużne), dla ogniskowej 90 mm oraz trzech różnych godzin rozpoczęcia fotografowania. Data symulacji: 22 czerwca; początek fotografowania o godzinie: 7:00 (H7), 9:00 (H9) i 11:00 (H11). Estymowany czas fotografowania bloku dla pokryć 10%: 92 minuty, 30%: 101 minut, 50%: 155 minut i 70%: 249 minut. Rozciąganie kontrastu każdej mozaiki oddzielnie metodą normalizacji kształtu krzywej histogramu. Ilustracja w monografii została zamieszczona jako tabela 6-21.



Ryc. 15. Zależność odchylenia standardowego mozaik maksymalnej wartości wskaźnika BRDF (wskBRDF) od ogniskowej dla obszarów badawczych (1, 2, 3, 4) i trzech wielkości pokryć poprzecznego i podłużnego (poprzeczne=podłużne). Data symulacji: 22 czerwca; początek fotografowania: godzina 9:00; estymowany czas fotografowania bloku przy pokryciu 10%: 92 minuty, 30%: 101 minut, 50%: 155 minut. Ilustracja w monografii została zamieszczona jako tabela 6-22.

Wykonany przeze mnie eksperyment w szerokim zakresie zmian ogniskowej pozwolił na zaprezentowanie na rycinie 15 zależności odchylenia standardowego wskBRDF od wielkości ogniskowej dla mozaik wszystkich obszarów i trzech wielkości pokryć poprzecznego i podłużnego: 10, 30 i 50%. Aby lepiej przedstawić zależność, wybrałem typ wykresu dla oddzielnych kategorii, dlatego przyrost wartości ogniskowej jest nieproporcjonalny. Odpowiadające sobie wykresy dla obszarów badawczych były niemal jednakowe. Generalnie wraz ze wzrostem długości ogniskowej spadała wartość odchylenia standardowego wskBRDF i malało zróżnicowanie wynikające ze zmian pokrycia poprzecznego i podłużnego. Wpływ wzrostu wartości pokryć między zdjęciami powodował spadek wartości SD, większy dla krótszych ogniskowych niż 150–180 mm, zależnie od obszaru badawczego. Dla ogniskowych dłuższych niż 150–180 mm charakter zależności się odwracał, wzrost wielkości pokrycia poprzecznego i podłużnego powodował niewielki wzrost (niskich) wartości SD mozaik maksymalnych wskBRDF.

W monografii zaprezentowałem też mozaiki innych postaci zdjęć lotniczych obszarów badawczych - zdBRDF i zdBRDFV, W przypadku postaci zdBRDF, zarówno w przypadku mozaik wartości minimalnych jak i maksymalnych, stwierdziłem, że wzrostu wartości średniej jasność mozaik obszaru badawczego

następował wraz ze wzrostem ogniskowej. W przypadku mozaik postaci z winietowaniem, zdBRDFV, średnia jasność dla obszarów badawczych była tym niższa im krótsza była ogniskowa.

Podobieństwo bloków zdjęć lotniczych wyrażone średnią korelacją dla postaci pionowych zdjęć

Znormalizowany pod względem warunków oświetlenia i obserwacji współczynnik odbicia jest składkową niezależną od geometrii stosowanej do pozyskania obrazu. Zdjęcia pionowe (zdPN), były pierwszą postacią zdjęć „obliczaną” podczas symulacji bloku. Pierwszym elementem analizy tej postaci zdjęć było szacowanie rozkładów trendów funkcji wielomianowych od drugiego do szóstego stopnia (zależnie od eksperymentu). Drugim etapem analizy wykonywanym w trakcie symulacji były obliczenia średniej korelacji bloku dla składowej zdjęć pionowych i pochodnych w postaci bloków rozkładów trendu.

Na rycinie 16 zawarłem zestawienie tabelaryczne średnich korelacji bloków dla postaci zdjęć pionowych i ich rozkładów oszacowanych na podstawie funkcji wielomianowych dla czterech obszarów badawczych. Zestawieniem objęto wszystkie przypadki, które wystąpiły w przeprowadzonych eksperymentach obliczeniowych a dotyczyły kwadratowej ramki zdjęcia. Uwzględniłem również przypadki symulacji dla czterech zakresów spektralnych.

zdDN					rPN-W2				
P	1	2	3	4	p	1	2	3	4
10×10	-0,0020	-0,0043	-0,0007	0,0013	10×10	0,0003	-0,0104	-0,0148	-0,0012
20×20	-0,0005	-0,0019	0,0029	-0,0006	20×20	-0,0004	0,0017	0,0020	-0,0023
30×30	-0,0009	0,0003	0,0003	-0,0004	30×30	0,0006	0,0033	-0,0020	-0,0067
40×40	0,0011	0,0005	0,0002	0,0002	40×40	0,0009	0,0002	0,0096	-0,0013
50×50	0,0001	-0,0007	0,0014	-0,0013	50×50	0,0008	-0,0013	0,0091	-0,0030
60×60	-0,0001	0,0005	-0,0002	-0,0006	60×60	0,0022	0,0003	0,0072	0,0006
70×70	0,0001	-0,0003	0,0009	-0,0001	70×70	0,0015	0,0003	0,0077	0,0009
80×60	-0,0003	0,0009	0,0003	0,0004	80×60	0,0003	0,0061	0,0003	0,0035
rPN-W3					rPN-W4				
P	1	2	3	4	P	1	2	3	4
10×10	0,0006	-0,0151	-0,0127	0,0014	10×10	0,0013	-0,0160	-0,0094	-0,0002
30×30	-0,0014	-0,0003	0,0044	-0,0036	30×30	-0,0024	0,0000	0,0023	-0,0026
50×50	0,0002	-0,0012	0,0050	-0,0036	50×50	-0,0006	-0,0011	0,0041	-0,0045
rPN-W5					rPN-W6				
P	1	2	3	4	P	1	2	3	4
10×10	0,0008	-0,0147	-0,0087	-0,0012	10×10	-0,0013	-0,0127	-0,0050	-0,0015
30×30	-0,0020	0,0010	0,0015	-0,0028	30×30	-0,0016	0,0003	0,0015	-0,0023
50×50	-0,0001	-0,0011	0,0052	-0,0045	50×50	-0,0005	-0,0010	0,0045	-0,0043
zdPN-KAN					rPN-KAN-W2				
B	0,0003	0,0003	0,0010	-0,0001	B	0,0026	0,0003	0,0072	0,0002
G	0,0007	0,0002	0,0015	-0,0003	G	0,0044	0,0004	0,0071	0,0002
R	0,0003	0,0002	0,0008	-0,0002	R	0,0031	0,0002	0,0054	0,0007
NIR	0,0004	0,0002	0,0020	-0,0002	NIR	0,0055	0,0012	0,0097	0,0007

Ryc. 16. Zestawienie średniej korelacji bloków dla postaci zdjęć pionowych (zdPN) oraz oszacowanych dla nich rozkładów trendów (rPN) funkcjami wielomianów od drugiego do szóstego stopnia (W2, W3, W4, W5 i W6) i zastosowanych pokryć pomiędzy zdjęciami w różnych eksperymentach opartych na kwadratowej ramce zdjęcia. Pokrycie między zdjęciami (P) w procentach, cyframi arabskimi oznaczono obszary badawcze (1, 2, 3 i 4). W przypadku tabel dla zakresów spektralnych, pokrycie zdjęć ustawiono tylko w jednym przypadku (80×60%). Ilustracja w monografii została zamieszczona jako tabela 6-4.

Natomiast na rycinie 17 zestawilem średnie korelacje bloków dla zdjęć pionowych (zdPN) i ich rozkładów trendów (rPN) oszacowanych na podstawie funkcji wielomianowych drugiego stopnia obliczone dla wszystkich obszarów badawczych i wybranych obiektów współczesnych kamer pomiarowych o innej niż kwadratowa proporcji.

zdPN-1						rPN-1-W2					
K/P	10×10	30×30	50×50	60×60	70×70	K/P	10×10	30×30	50×50	60×60	70×70
1	-0,0005	0,0000	0,0004	0,0007	0,0008	1	0,0069	0,0007	0,0022	0,0031	0,0020
2	-0,0019	0,0003	0,0014	-0,0001	0,0009	2	-0,0076	0,0012	0,0004	0,0020	0,0018
3	0,0014	0,0003	0,0013	0,0004	0,0011	3	0,0038	0,0017	0,0012	0,0018	0,0017
4	-0,0015	0,0001	0,0012	-0,0001	0,0008	4	-0,0006	-0,0002	0,0029	0,0021	0,0020
5	-0,0007	0,0007	0,0011	0,0000	0,0009	5	-0,0021	0,0006	0,0020	0,0021	0,0024
6	0,0002	0,0011	0,0012	0,0007	0,0008	6	-0,0002	0,0013	0,0018	0,0024	0,0019
7	-0,0025	0,0000	0,0010	0,0006	0,0008	7	-0,0042	0,0021	0,0020	0,0030	0,0021
zdPN-2						rPN-2-W2					
K/P	10×10	30×30	50×50	60×60	70×70	K/P	10×10	30×30	50×50	60×60	70×70
1	-0,0006	-0,0028	-0,0002	-0,0002	0,0002	1	0,0010	-0,0127	0,0009	0,0001	0,0003
2	-0,0018	-0,0038	-0,0004	0,0001	-0,0002	2	0,0045	0,0030	-0,0006	0,0002	0,0009
3	-0,0008	0,0007	-0,0001	0,0003	0,0002	3	0,0018	-0,0002	0,0007	0,0007	0,0005
4	-0,0003	0,0014	-0,0001	0,0003	0,0004	4	0,0033	0,0018	-0,0002	-0,0003	0,0003
5	-0,0019	0,0003	-0,0002	0,0000	0,0001	5	-0,0113	-0,0009	0,0002	0,0004	0,0006
6	-0,0005	0,0011	-0,0003	0,0000	0,0004	6	0,0064	-0,0002	0,0001	0,0000	0,0003
7	-0,0006	0,0015	-0,0007	0,0002	-0,0002	7	-0,0064	-0,0015	0,0000	-0,0002	0,0005
zdPN-3						rPN-3-W2					
K/P	10×10	30×30	50×50	60×60	70×70	K/P	10×10	30×30	50×50	60×60	70×70
1	0,0024	0,0009	0,0006	0,0009	0,0235	1	0,0058	0,0013	0,0057	0,0050	0,0544
2	0,0019	0,0001	0,0216	0,0272	0,0236	2	0,0081	0,0007	0,0502	0,0643	0,0559
3	0,0191	0,0268	0,0209	0,0258	0,0010	3	0,0351	0,0569	0,0406	0,0530	0,0049
4	-0,0006	0,0012	0,0218	0,0259	0,0235	4	-0,0076	0,0000	0,0468	0,0592	0,0499
5	0,0025	-0,0001	0,0211	0,0253	0,0236	5	0,0083	0,0061	0,0461	0,0580	0,0539
6	0,0018	-0,0001	0,0010	0,0007	0,0011	6	-0,0018	0,0010	0,0060	0,0050	0,0062
7	0,0024	0,0030	0,0239	0,0277	0,0241	7	0,0077	0,0019	0,0586	0,0686	0,0582
zdPN-4						rPN-4-W2					
K/P	10×10	30×30	50×50	60×60	70×70	K/P	10×10	30×30	50×50	60×60	70×70
1	0,0005	-0,0040	-0,0004	-0,0005	-0,0005	1	-0,0026	-0,0186	0,0015	0,0002	0,0002
2	0,0005	0,0003	0,0006	-0,0001	-0,0001	2	-0,0011	0,0035	0,0006	-0,0001	-0,0001
3	0,0008	-0,0005	0,0002	-0,0001	0,0000	3	-0,0002	-0,0021	0,0001	0,0002	0,0002
4	0,0022	-0,0029	-0,0015	-0,0003	0,0000	4	-0,0023	-0,0015	0,0003	0,0003	0,0003
5	0,0007	-0,0003	-0,0005	0,0001	-0,0002	5	0,0005	-0,0004	0,0004	0,0005	0,0001
6	0,0025	-0,0036	-0,0008	0,0003	0,0000	6	-0,0003	-0,0098	-0,0021	0,0004	0,0003
7	0,0008	-0,0032	0,0003	-0,0003	0,0000	7	-0,0012	-0,0145	0,0017	0,0009	0,0004

Ryc. 17. Zestawienie średniej korelacji bloków dla postaci zdjęć pionowych (zdPN) oraz oszacowanych dla nich rozkładów trendów (rPN) funkcjami wielomianów drugiego stopnia (W2) i zastosowanych pokryć pomiędzy zdjęciami w eksperymencie dotyczącym różnych proporcji macierzy panchromatycznych układów optycznych współczesnych kamer pomiarowych. Pokrycie między zdjęciami (P) w procentach, cyframi arabskimi oznaczono obszary badawcze (1, 2, 3 i 4). Kamery (K) oznaczono cyframi arabskimi (w nawiasie proporcja boków matrycy): 1 – IGI DIGI-CAM 300 (1/0,71), 2 – Phase One RGB iXM-100 (1/0,75), 3 – IGI Urban Mapper 2 RGB (1/0,41), 4 – DMC I PAN (1/0,55), 5 – UltraCam Eagle Mark 3 PAN (1/0,68), 6 – DMC III PAN (1/0,57), 7 – DMC II/250 PAN (1/0,83). Ilustracja w monografii została zamieszczona jako tabela 6-5.

Stwierdziłem, że wszystkie zestawione wartości średnich korelacji były bardzo zbliżone do 0, co świadczyło o generalnym braku podobieństwa zarówno między zdjęciami pionowymi, jak i ich rozkładami w całym bloku. Omawiana prawidłowość nie była zależna od wielkości pokrycia, w tym także od zróżnicowania pomiędzy pokryciem podłużnym i poprzecznym. Opisane powyżej wnioski dotyczące średniej korelacji bloku odniosłem do postawionej we wprowadzeniu hipotezy, że zróżnicowanie między zdjęciami w bloku zdjęć lotniczych jest efektem ich treści, a podobieństwo – sposobu fotografowania układem optycznym wykorzystującym geometrię rzutu środkowego i, stwierdziłem, że stanowią one jej potwierdzenie poprzez wartość średniej korelacji zdjęć pionowych w bloku bliską zeru.

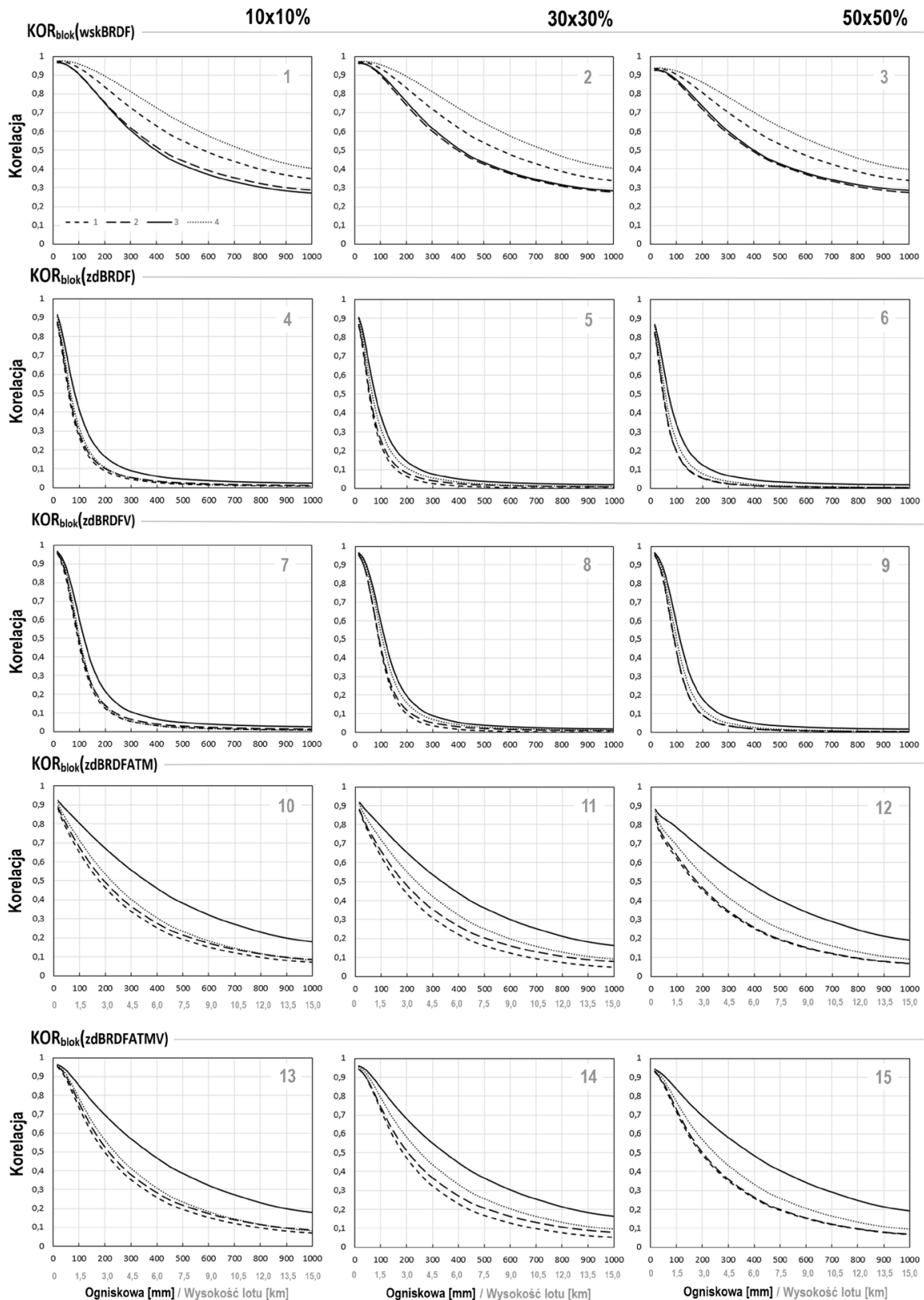
Wobec stwierdzonej bliskiej zeru średniej korelacji obrazowej bloku zdjęć w postaci znormalizowanego współczynnika odbicia zadałem sobie pytania: 1) Od jakiej wielkości bloków, ściślej liczby zdjęć, stwierdzona prawidłowość zachodzi? 2) Czy konfiguracja (kształt) bloków, czy może kolejność zdjęć mają wpływ na wielkość średniej korelacji zdPN? 3) Czy rozdzielczość (rozmiar zdjęć) ma wpływ na wartość średniej korelacji bloku? Starąłem się na te pytania odpowiedzieć poprzez zastosowanie: 1) filtracji przestrzennych rastrowych macierzy korelacji symulacji bloków, 2) badanie średniej korelacji losowych próbek zdjęć (podzbiorów bloków) oraz 3) sprawdzenie zmienności średniej korelacji w zależności od rozdzielczości zdjęcia wykorzystując rzeczywiste zbiory zdjęć lotniczych (pozyskane z państwowego zasobu). Na postawione pytania nie uzyskałem jednoznacznej odpowiedzi. Badanie z zastosowaniem filtracji przestrzennych wykazało, że już niewielkie podzbiory zdjęć bloku mogą uzyskiwać wartości równe zeru a zwiększanie maski filtru przestrzennego prowadzi do zmniejszania odchylenia standardowego rastra korelacji. Z kolei badanie z zastosowaniem losowego mechanizmu tworzenia podzbiorów, nie było takie jednoznaczne, co może wskazywać, iż kolejność zdjęć może mieć pewne znaczenie w obliczaniu średniej korelacji bloku. Z kolei obliczenia korelacji na rzeczywistych blokach zdjęć lotniczych, zawarte w rozdziale dotyczącym dyskusji, udowodniły stałość średniej korelacji zbiorów do 7 poziomu piramidy obrazowej, czyli praktyczną użyteczność tej miary w kontekście faktu wykonania lub nie wyrównania rozkładu jasności/barw zdjęć (udostępnianych przez zasób państwowy) oraz wykazały, że przyjęty rozmiar symulowanych zdjęć 100×100 pikseli był wystarczający (odpowiada on poziomowi 6-7 piramidy współczesnych zdjęć z kamer cyfrowych), do tego aby uzyskane wyniki symulacji móc odnosić do rzeczywistych danych obrazowych.

Podobieństwo bloków zdjęć lotniczych wyrażone średnią korelacją bloku w zależności od ogniskowej

Ogniskowa układu optycznego, jej wielkość w relacji do rozmiaru matrycy jest kluczowa dla wszystkich zjawisk mających wpływ na formowanie obrazu zdjęcia. Eksperyment związany z oszacowaniem wpływu ogniskowej na średnią korelację bloku zdjęć lotniczych obejmował wykonanie obliczeń 204 symulacji dla 18 przypadków długości ogniskowej, trzech przypadków pokryć oraz czterech obszarów badawczych. Zakres wybranych przypadków ogniskowej, od 15 do 1000 mm, obejmował większość stosowanych w praktyce ogniskowych, Symulowane wartości ogniskowych dobrałem w taki sposób, że interwały były mniejsze dla krótkich ogniskowych, a większe dla dłuższych. Według przyjętych dla SZL założeń wysokość lotu powiązana była z ogniskową w taki sposób, że niezależnie od ogniskowej fotografowany był ten sam obszar. Miało to wpływ na postaci zdjęć zawierające składową rozpraszania.

Zależności pomiędzy wielkością ogniskowej a średnią korelacją bloku zaprezentowałem na rycinie 18. Na wykresach zestawilem zależności dla obszarów badawczych i zmiennych pokryć dla pięciu postaci zdjęć – wskBRDF, zdBRDF, zdBRDFV, zdBRDFATM i zdBRDFATMV. Generalnie wraz ze wzrostem długości ogniskowej wielkość średniej korelacji bloku zdjęć spadała. Dla bardzo krótkich ogniskowych wartość korelacji bloku była bliska jedności, natomiast dla bardzo długich ogniskowych dążyła do zera. Przebieg wykresu omawianej zależności jest zmienny dla poszczególnych obszarów badawczych i różnych postaci zdjęć lotniczych.

Zależność wielkości ogniskowej i średniej korelacji bloku dla wskBRDF zestawioną dla obszarów badawczych, oznaczoną jako $KOR_{\text{blok}}(\text{wskBRDF})$, przedstawiłem na rycinie 18, wykresach 1–3 (kolejne wykresy dotyczą innych pokryć między zdjęciami). Wartość korelacji spadała najłagodniej spośród wszystkich postaci zdjęć lotniczych. Zróżnicowanie wskBRDF było powiązane ze zmiennością wysokościową rzeźby i pokrycia terenu pomiędzy obszarami badawczymi.



Ryc. 18. Zmienność średniej korelacji bloku zdjęć lotniczych w zależności od ogniskowej w zestawieniu dla czterech obszarów badawczych. Grupowanie wykresów według pięciu postaci zdjęć (poziomo) i trzech wielkości pokryć (pionowo). Początek symulacji: 22 czerwca godzina 9:00. Do opisu osi odciętych dla $KOR_{\text{blok}}(zdBRDFATM)$ i $KOR_{\text{blok}}(zdBRDFATMV)$ dodano etykiety wysokości lotu. Ilustracja w monografii została zamieszczona jako tabela 6-27.

Postać zdjęć zdBRDF powstawała poprzez skalowanie znormalizowanego współczynnika odbicia (zdPN) rozkładem wskaźnika dwukierunkowego odbicia spektralnego (wskBRDF). Warto przypomnieć omówioną wcześniej prawidłowość, stwierdzoną dla bloków zdjęć pionowych zdPN, dla których średnia korelacja bloku osiągała wartości zbliżone do zera. Wykresy $KOR_{\text{blok}}(\text{zdBRDF})$ zawarłem na rycinie 18 (4-6). Spadek wartości średniej korelacji bloku dla postaci zdBRDF następował dość szybko dla krótkich ogniskowych, osiągając wartość 0,1 przy ogniskowej 200–300 mm zależnie od obszaru badawczego. Przy dalszym zwiększaniu wartości ogniskowej spadek ten następował zdecydowanie wolniej, co miało związek z coraz mniejszym zróżnicowaniem kąta obserwacji kamery na zdjęciach. Zakres zróżnicowania $KOR_{\text{blok}}(\text{zdBRDF})$ pomiędzy obszarami badawczymi dla tej samej wartości ogniskowej był zdecydowanie mniejszy niż w przypadku $KOR_{\text{blok}}(\text{wskBRDF})$.

Przebiegi wykresów $KOR_{\text{blok}}(\text{zdBRDFV})$, rycina 18 (wykresy 7-9), były bardzo podobne do przebiegów $KOR_{\text{blok}}(\text{zdBRDF})$. Zauważalne różnice w ich przebiegu dotyczyły ogniskowych do około 300 mm, dla których winietowanie spowodowało wzrost wartości średniej korelacji bloku. Wzrost wartości średniej korelacji bloku pomiędzy $KOR_{\text{blok}}(\text{zdBRDF})$ a $KOR_{\text{blok}}(\text{zdBRDFV})$ dla ogniskowych krótszych niż 120 mm wyniósł ponad 0,1. Przy dłuższych ogniskowych winietowanie, podobnie jak zjawisko dwukierunkowego odbicia, słabnie i nie wpływa znacząco na rozkład naświetlania w płaszczyźnie zdjęcia (ze względu na niewielką zmienność kąta obserwacji kamery).

Na rycinie 18, na wykresach 10-12 przedstawiłem wyniki odnoszące się do zależności pomiędzy ogniskową a $KOR_{\text{blok}}(\text{zdBRDFATM})$. Uwzględnienie składowej rozpraszania atmosferycznego spowodowało zdecydowane obniżenie tempa spadku średniej korelacji bloku zdjęć lotniczych wraz ze wzrostem długości ogniskowej. Wynika to przede wszystkim ze wzrostu wysokości fotografowania powiązanego z ogniskową, czyli zwiększającą się grubością atmosfery, a przez to rosnącym efektem rozpraszania promieniowania w atmosferze dla pojedynczego zdjęcia i sumarycznie całego bloku.

Zależność ogniskowej i $KOR_{\text{blok}}(\text{zdBRDFATMV})$ zilustrowałem na rycinie 18, wykresach 13–15. Przebieg średniej korelacji bloku jest bardzo podobny do omówionych dla postaci zdBRDFATM . Uwzględnienie wpływu winietowania spowodowało podniesienie $KOR_{\text{blok}}(\text{zdBRDFATMV})$ w zakresie krótkich ogniskowych o około 0,1.

Podsumowanie i wnioski

Poza przedstawioną możliwością opisu średnią korelacji zróżnicowania bloków zdjęć lotniczych w kontekście zmian ogniskowej istnieją inne możliwości wykorzystania tego parametru. W monografii zaprezentowałem następujące sposoby wykorzystania średniej korelacji bloku:

- 1) do opisu odmienności bloków zdjęć symulowanych w ciągu dnia biorąc pod uwagę tylko zmienność warunków oświetlenia,
- 2) do opisu zmienności bloków zdjęć w ciągu całego roku, biorąc pod uwagę zróżnicowanie warunków oświetlenia w ciągu całego roku,
- 3) do porównania różnych obiektywów (kształtu ramki zdjęcia i ogniskowej) współczesnych kamer pomiarowych stosowanych do pozyskiwania zdjęć fotogrametrycznych,
- 4) do opisu zróżnicowania bloków zdjęć symulowanych dla czterech zakresów spektralnych (na podstawie obrazów Landsat'a),
- 5) do scharakteryzowania procesu mozaikowania na podstawie różnej wielkości obrazów źródłowych (coraz mniejszego fragmentu wycinanego centralnie),
- 6) do oceny efektywności wyrównania jasności zaproponowaną metodą, opartą na rozkładach trendu wskaźnika BRDF),
- 7) w odniesieniu do korelacji równej zero (dla bloku zdjęć znormalizowanych),
- 8) do całościowej oceny wpływu czynników formujących obraz oraz istnienia lub nie korekcji radiometrycznej zdjęć pozyskiwanych z zasobu państwowego,

Najważniejsze wnioski, które można sformułować na podstawie wyników przeprowadzonych symulacji i obliczeń korelacji, to:

1. wartość średniej korelacji bloku zdjęć w postaci znormalizowanego współczynnika odbicia (brak efektów związanych z rzutem środkowym) dla wszystkich symulacji była bliska zeru, co potwierdza nieobciążenie bloku zdjęć w tej postaci zjawiskami powiązаныmi z rzutem środkowym;
2. wartość średniej korelacji bloku zdjęć w postaci rozkładów trendu dla znormalizowanego współczynnika odbicia, liczonych wielomianami od drugiego do szóstego rzędu, również była bliska zeru;
3. wartość średniej korelacji bloków w postaci uwzględniającej zjawiska winietowania, dwukierunkowego odbicia spektralnego i rozpraszania promieniowania w atmosferze była zawsze większa od zera;
4. średnią korelację bloku można wykorzystać jako miarę efektywności korekcji radiometrycznej (po korekcji wartość korelacji powinna być niższa niż przed, najbardziej efektywna korekcja powinna dać wartość średniej korelacji bloku bliską zeru);
5. stosując miarę średniej korelacji bloku, wykazano, że korekcja funkcjami wielomianowymi jest bardziej efektywna, jeśli są one szacowane nad rozkładem wskaźnika dwukierunkowego odbicia spektralnego na podstawie modelu zróżnicowania wysokościowego pokrycia terenu niż w przypadku szacowania na rzeczywistych zdjęciach (z „treścią” obciążoną zjawiskami powiązаныmi z geometrią rzutu środkowego);
6. wykorzystywanie centralnych fragmentów zdjęć w przygotowywaniu mozaik bloków uzasadnione jest również spadkiem średniej korelacji bloków wraz ze zmniejszeniem wielkości zdjęcia użytego w procesie montażu (im blok złożony z mniejszych fragmentów zdjęć, tym średnia korelacja bloku jest mniejsza).

Istnieje kilka czynników mających wpływ na zróżnicowanie średniej korelacji bloku, oprócz omówionej uprzednio ogniskowej. Wśród nich można wymienić te, które oddziałują najbardziej:

- 1) im mniejsze zróżnicowanie wysokościowe rzeźby i rodzajów pokrycia terenu, tym mniejsza wartość średniej korelacji bloku;
- 2) im niższa wysokość fotografowania, tym mniejszy wpływ warunków atmosferycznych na średnią korelację bloku (choć jest to powiązane również z ogniskową);
- 3) średnia korelacja bloku zróżnicowana jest spektralnie (dla analizowanych obszarów badawczych najniższe wartości stwierdzono dla składowej czerwonej, najwyższe dla niebieskiej);
- 4) proporcje różnych rodzajów pokrycia terenu mają pewien wpływ na różnicowanie wartości średniej korelacji bloku, zwłaszcza jeśli dominuje jeden rodzaj pokrycia na całym obszarze fotografowania);
- 5) wzrost pokrycia między zdjęciami powoduje niewielki spadek wartości średniej korelacji;
- 6) warunki oświetlenia zmieniające się w ciągu roku oraz w ciągu dnia mają pewien wpływ na wartość średniej korelacji bloku, powodując jej spadek wraz ze wzrostem wysokości słońca nad horyzontem, zwłaszcza dla składowej powiązanej z rozkładem dwukierunkowego odbicia spektralnego.

Jednakże trzeba podkreślić, iż wpływ wymienionych czynników na zakres zmienności średniej korelacji bloku był zdecydowanie mniej znaczący niż wielkość ogniskowej.

Przygotowane przeze mnie oprogramowanie SZL, mimo przyjętych uproszczeń dotyczących procesu fotografowania, w poprawny sposób symuluje zdjęcia lotnicze w postaci regularnych bloków. Jak starałem się wykazać w dyskusji, zastosowanie innych modeli dla zjawisk formowania obrazu miałyby niewielki wpływ na wartości średniej korelacji bloku (ze wszystkich korelacji cząstkowych wszystkich możliwych par zdjęć). Oprócz wykorzystania badawczego, wizualizacje składowych i różnych postaci zdjęć lotniczych w bloku mają znaczenie dydaktyczne, do wykorzystywania w nauczaniu teledetekcji czy fotogrametrii (aspekty radiometryczne). Mimo w pełni funkcjonalnej wersji postaci oprogramowania, istnieje wiele perspektyw jego rozwoju - np. w zakresie wzbogacenia o dodatkowe czynniki związane z procesem fotografowania (symulacja głębi obrazu i zniekształceń geometrycznych układu optycznego w postaci dystorsji radialnej i tangencjalnej) jak wykorzystania innych miar podobieństwa.

Literatura

- Acharya T. D., Yang I. T., Lee D. H. (2018). Land Cover Classification of Imagery from Landsat Operational Land Imager Based on Optimum Index Factor. *Sensors Mater*, 30, 1753; 10.1080/10106049.2014.894586.
- Ackermann, F., (1984). Digital Image Correlation: Performance and Potential Application in Photogrammetry. *Photogrammetric Record*, 11 (64), 429–439; doi: 10.1111/j.1477-9730.1984.tb00505.x
- Agrafiotis P., Georgopoulos A., Karantzas K. (2016). The Effect of Pansharpening Algorithms on the Resulting Orthoimagery. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLI-B7, 625-630; doi: 10.5194/isprsarchives-XLI-B7-625-2016.
- Aiazzi B., Baronti S., Selva M. (2007). Improving Component Substitution Pansharpening through Multivariate Regression of MS + Pan Data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 45, 10, 3230-3239.
- Baetens, L., Desjardins, C., Hagolle O. (2019). Validation of Copernicus Sentinel-2 Cloud Masks Obtained from MAJA, Sen2Cor, and FMask Processors Using Reference Cloud Masks Generated with a Supervised Active Learning Procedure. *Remote Sensing*, 11(4), 433; doi: 10.3390/rs11040433.
- Baz I., Buyksalih G., Jacobsen K. (2007). Bundle block adjustment with high resolution UltraCamD images. Proceedings of the ISPRS Hannover Workshop: High-Resolution Earth Imaging for Geospatial Imaging; doi: 10.1.1.221.8609.
- Beisl U., Telaar J., Schönermark M. (2008). Atmospheric Correction, Reflectance Calibration and BRDF Correction for ADS40 Image Data. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXVII, B7, Beijing, 7-12; doi: 10.1.1.183.7769.
- Beisl, U., (2006). Absolute Spectroradiometric Calibration of the ADS40 Sensor. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Paris, France, XXXVI, 2; doi: 10.1.1.221.9294.
- Berk A., Conforti P., Kennett R., Perkins T., Hawes F., Bosch, J. (2014). MODTRAN® 6: A major upgrade of the MODTRAN radiative transfer code. 1-4. 10.1109/WHISPERS.2014.8077573.
- Burggraaff O., Schmidt N., Zamorano J., Pauly K., Pascual S., Tapia C., Spyrakos E., Snik F. (2019). Standardized Spectral and Radiometric Calibration of Consumer Cameras. *Optics Express* 27 (14), 19075-19101.
- Ben-Artzi, A., Egan, K., Durand, F., Ramamoorthi, R. (2008). A precomputed polynomial representation for interactive BRDF editing with global illumination. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 27(2), 1-13. . doi: 10.1145/1356682.1356686.
- Chandelier L., Martinoty G., (2009). A radiometric aerial triangulation for the equalization of digital aerial images and orthoimages. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* Vol. 75, No. 2, 193–200.
- Chavez P. S., Guphill, S. C., Bowell J. A. (1984). Image Processing Techniques for Thematic Mapper Data. Proceedings, ASPRS Technical Papers 2, 728–742.
- Chen J., Dowman I., Li S., Li Z., Madden M., Mills J., Paparoditis N., Rottensteiner F., Sester M., Toth Ch., Trinder J., Heipke Ch. (2016). Information from imagery: ISPRS scientific vision and research agenda. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 115, 3-21.
- Chiabrando F., Lingua A., Maschio P., Losè L. T. (2017). The influence of flight planning and camera orientation in UAVs photogrammetry. A test in the area of Rocca San Silvestro (LI), TUSCANY. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 163; doi: 10.5194/isprs-archives-XLII-2-W3-163-2017.
- Chu T. C., Ranson W. F., Sutton M. A. (1985). Applications of Digital-Image-Correlation Techniques to Experimental Mechanics. *Experimental mechanics*, 25(3), 232-244; doi: 10.1007/BF02325092.
- Cierniewski J. (1999). Geometrical Modelling of Soil Bidirectional Reflectance in the Optical Domain. Wydawnictwo Naukowe Bogucki, Poznań, 148.
- Cierniewski, J., Marlewski, A., Faryś, M., Królewicz, S. (1998): Brightness variation of furrowed soil surfaces remotely sensed. *Questiones Geographicae*. Wyd. Nauk. UAM Poznań: 13-22. https://www.researchgate.net/profile/Jerzy-Cierniewski/publication/285983882_Brightness_variation_of_furrowed_soil_surfaces_remotely_sensed/links/5e78fb7792851c309138f21e/Brightness-variation-of-furrowed-soil-surfaces-remotely-sensed.pdf (dostęp: 22-10-2020)
- Cierniewski, J., Verbrugge, M., Bialousz, S., & Chmiel, J. (1995). Directional character of soil surface reflectance in the visible and near-infrared range. *International Agrophysics*, 9(2). http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.agro-article-4dd113eb-93d9-4a4f-9ae2-0b213eaa809c/c/Directional_character_of.pdf (dostęp: 21-10-2020).

- Collings S., Caccetta P., Campbell N., Wu, X. (2011). Empirical Models for Radiometric Calibration of Digital Aerial Frame Mosaics. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 49(7), 2573-2588; doi: 10.1109/TGRS.2011.2108301.
- Demirel A. S., Akdeniz H., Aksu O. (2004). Two Functional Software for Internal Use; Flight Planning and Presenting of Digital Orthophotos. International Society of Remote Sensing and Photogrammetry Conference 2004, Commission IV, WG IV/5. (dostęp internetowy: <http://www.cartesia.org/geodoc/isprs2004/comm4/papers/370.pdf>)
- Duggin M. J., (1980). The Field Measurement of Reflectance Factors. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 6, 5, 643-647. https://www.asprs.org/wp-content/uploads/pers/1980journal/may/1980_may_643-647.pdf (dostęp: 20-20-2020).
- Emde, C., Buras-Schnell, R., Kylling, A., Mayer, B., Gasteiger, J., Hamann, U., Bugliaro, L. (2016). The libRadtran software package for radiative transfer calculations (version 2.0.1). *Geoscientific Model Development*, 9(5), 1647-1672.
- Fleming E.A., (1968). Solar Altitude Nomograms. [In]: Manual of Color Aerial Photography. Ed. Smith J.H., Anson A. American Society of Photogrammetry, Virginia.
- Furmańczyk K. (1980). Zarys Fotointerpetacji. Skrypty uczelniane Uniwersytetu Gdańskiego. Gdańsk.
- Gandor F., Rehak M., Skaloud J. (2015). Photogrammetric Mission Planner for RPAS. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XL-1/W4, 61-65. International Conference on Unmanned Aerial Vehicles in Geomatics, 30 Aug -02 Sep 2015, Toronto, Canada. doi: 10.5194/isprsarchives-XL-1-W4-61-2015.
- Gitin, A.V. (1993). Integral Description of Physical Vignetting. *Soviet Journal of Optical Technology*, 60, 556-558.
- Gonzales F., Velez-Reyes M. (1997). Atmospheric Correction of Satellite Imagery Using Modtran 3.5 Code. <https://ntrs.nasa.gov/citations/20010000408> (dostęp: 7-09-2020).
- Grenzdörffer G.J., Guretzki M., Friedlander I. (2008). Photogrammetric image acquisition and image analysis of oblique imagery. *The Photogrammetric Record*, 23: 372-386. doi: 10.1111/j.1477-9730.2008.00499.x.
- Guntel A., Karabork H., Karasaka L. (2018). Accuracy Analysis of Control Point Distribution for Different Terrain Types on Photogrammetric Block. *Technical Gazette* 25, Suppl. 1(2018), 66-74; doi: 10.17559/TV-20160801140840.
- Gehrke S., Beshah B. T., (2016). Radiometric Normalization of Large Airborne Image Data Sets Acquired by Different Sensor Types. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLI-B1, 2016, XXIII ISPRS Congress, 12-19 July, Prague, Czech Republic. 317 – 326. Doi:10.5194/isprsarchives-XLI-B1-317-2016.
- Haala N., Rothermel M. (2012). Dense Multiple Stereo Matching of Highly Overlapping UAV Imagery. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXIX-B1, 387-392; doi: 10.5194/isprsarchives-XXXIX-B1-387-2012.
- Hall R. (1954). The Effect of Haze and High Solar Altitude on the Density of Air Survey Negatives. *Photogrammetric Record*, 1.4 20-37; doi: 10.1111/j.1477-9730.1954.tb01009.x.
- Hirschmugl, (2008). Derivation of forest parameters from UltracamD data. Doktorat; https://www.joanneum.at/fileadmin/user_upload/imported/uploads/tx_publicationlibrary/diessertation_hirschmugl_web.pdf (dostęp: 19-09-2020).
- Honkavaara E., Arbiol R., Markelin L., Martinez L., Cramer M., Bovet S., Chandelier L., Ilves R., Klonus S., Marshal P., Schläpfer D., Tabor M., Thom Ch., Veje N. (2009a). Digital Airborne Photogrammetry - A New Tool for Quantitative Remote Sensing? A State-of-the-Art Review on Radiometric Aspects of Digital Photogrammetric Images. *Remote Sensing*, 1(3), 577-605; doi: 10.3390/rs1030577.
- Honkavaara E., Arbiol R., Markelin L., Martinez L., Cramer M., Bovet S., Chandelier L., Ilves R., Klonus S., Marshal P., Schläpfer D., Tabor M., Thom Ch., Veje N. (2009a). Digital Airborne Photogrammetry - A New Tool for Quantitative Remote Sensing? A State-of-the-Art Review on Radiometric Aspects of Digital Photogrammetric Images. *Remote Sensing*, 1(3), 577-605; doi: 10.3390/rs1030577.
- Honkavaara E., Khoramshahi E. (2018). Radiometric Correction of Close-Range Spectral Image Blocks Captured Using an Unmanned Aerial Vehicle with a Radiometric Block Adjustment. *Remote Sensing*, 10, 256; doi: 10.3390/rs10020256.
- Honkavaara E., Markelin L. (2007). Radiometric Performance of Digital Image Data Collection - A Comparison of ADS40/DMC/UltraCam and EmergeDSS. Photogrammetric Week '07 Dieter Fritsch (Ed.) Wichmann Verlag, Heidelberg, 117-129. https://www.researchgate.net/publication/237405138_Radiometric_Performance_of_Digital_Image_Data_Collection_-_A_Comparison_of_ADS40DMCUltraCam_and_EmergeDSS (dostęp: 23-08-2020).

- Honkavaara E., Markelin L., Rosnell T., Nurminen K. (2012b). Influence of Solar Elevation in Radiometric and Geometric Performance of Multispectral Photogrammetry. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 67, 13-26; doi: 10.1016/j.isprsjprs.2011.10.001.
- Honkavaara, E. Arbiol, R., Markelin, L., Martinez L., Cramer M., Korpela I., Bovet, S., Thom C., Chandelier, Ilves L., Klonus R., Reulke S. R., Marshall P., Tabor, M., Schläpfer D. Veje N. (2009b). Status report of the EuroSDR project: Radiometric aspects of digital photogrammetric airborne images. *ISPRS Hannover Workshop 2009, Hannover, Germany, June 2-5. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 38 (1-4-7/W5). https://www.researchgate.net/publication/242264267_STATUS_REPORT_OF_THE_EUROSDR_PROJECT_RADIOMETRIC_ASPECTS_OF_DIGITAL_PHOTOGAMMETRIC_AIRBORNE_IMAGES (dostęp: 2-09-2020).
- Jensen R. J. (2016). *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*, Brigham Young University, 4th Edition.
- Jóźwicki R., 1970: *Optyka instrumentalna*. WNT, W-wa.
- Jupp, D. L. B. (2000). A Compendium of Kernel and other (semi-) Empirical BRDF Models. Report, Earth Obs. Cent., Off. of Space Sci. Appl. www.cossa.csiro.au/tasks/brdf/k_summ.pdf (dostęp: 4-09-2020).
- Kanga J. M., Parka J. K., Kima M. G. (2008). Digital mapping using aerial digital camera imagery. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXVII, B4, 1274-1278. https://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/4_pdf/223.pdf (dostęp: 24-09-2020).
- Kasser M., Egels Y., (2002). *Digital Photogrammetry*. Taylor Francis, Londyn. Nowy Jork.
- Kheiri M. (2006). Digital Aerial Camera. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, XXXVI, 6, 229-234; doi: 10.1.1.221.9134.
- Kissiyar O., Vanderstraete T., Kroon R., Verbeke B., (2008). Digital Cameras For a Photogrammetric Production Environment: A Test of The Geometric Stability and Accuracy. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXVII, B1, 677 – 680
- Kotchenova S., Vermote E. (2007). Validation of a Vector Version of the 6S Radiative Transfer Code for Atmospheric Correction of Satellite Data. Part II. Homogeneous Lambertian and Anisotropic Surfaces. *Applied Optics*. 46. 4455-64. doi: 10.1364/AO.46.004455.
- Kozak M., Whuk A., Tartanus M., Hartley J., (2012). Key variables come first! How best to design a correlation table when there is one key variable. *Journal of Information Science* 38(4), 399–403; doi: 10.1177/016555151244515.
- Królewicz S. (2000a). Zmienność jasności powierzchni piaszczystej fotografowanej w różnych warunkach oświetlenia i obserwacji. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, vol. 10, 49.1-49.12. http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.baztech-3da051b9-3482-4641-b93d-3d70cfd5a84d/c/arch_v10_2000_s49-1_Krolewicz.pdf (dostęp: 20-09-2020).
- Królewicz S. (2000b): Zmienność jasności powierzchni piaszczystych w okolicach Łeby na zdjęciach lotniczych z uwzględnieniem zmian położenia kamery lotniczej i właściwości układu optycznego kamery. *Badania Fizjograficzne nad Polską Zachodnią*, tom 51, Seria A, Geografia Fizyczna, 87-103. <http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.agro-855c775e-445f-4a26-ad88-f0e0c797b040/c/87-103.pdf> (dostęp: 19-09-2020).
- Królewicz S. (2003). Obraz powierzchni piaszczystych na zdjęciach lotniczych w zmieniających się warunkach ich oświetlenia i obserwacji. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, 13B: 409-418. http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.baztech-38a5800f-0071-48c6-8f1d-4d7c9660d805/c/Krolewicz_afkit_2013_13b.pdf (dostęp: 19-09-2020).
- Królewicz S., (2010). Analiza wpływu zjawiska BRDF na jasność obiektów w obrębie bloku zdjęć lotniczych. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, vol. XXI: 201-210. <http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.baztech-f6cf5005-fa21-437e-b032-afa8f7085dc3/c/Krolewicz.pdf> (dostęp: 18-09-2020).
- Królewicz, S. (2009). Cyfrowa korekcja winietowania zdjęć lotniczych. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, 19.
- Kurczyński Z. (2014). *Fotogrametria*. Wydawnictwo naukowe PWN. Warszawa. ISBN 978-83-01-17560-3.
- Kurczyński Z., Bielecki M., (2017). Metric Properties of Rolling Shutter Low-Altitude Photography. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, 29, 177-190. doi: 10.14681/afkit.2017.013.

- Kurczyński Z., Preuss R. (2003). Podstawy fotogrametrii. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa. ISBN 83-7207-413-5.
- Leberl F. (2012). The Ultracam Story. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXIX, B1, 39-45; doi: 10.5194/isprsarchives-XXXIX-B1-39-2012.
- Leberl F., Gruber M. (2007). About Frame Versus "Push-Broom" Aerial Cameras. *Microsoft Photogrammetry*, 8010 Graz, 36. <https://graz.pure.elsevier.com/en/publications/about-frame-versus-push-broom-aerial-cameras-a-microsoft-photogra> (dostęp: 15-08-2020).
- Lebourgeois V., Bégué A., Labbé S., Mallavan B., Prévot L., Roux B. (2008). Can Commercial Digital Cameras Be Used as Multispectral Sensors? A Crop Monitoring Test. *Sensors*, 8(11), 7300-7322; doi: 10.3390/s8117300.
- Lelong C. C., Burger P., Jubelin G., Roux B., Labbé S., Baret F. (2008). Assessment of Unmanned Aerial Vehicles Imagery for Quantitative Monitoring of Wheat Crop in Small Plots. *Sensors*, 8(5), 3557-3585. doi: 10.3390/s8053557.
- Lillesand T.M., Kiefer R.W., Chipman J. W. (2008). *Remote Sensing and Image Interpretation* (6th edition). New Jersey: John Wiley and Sons, Inc.
- Maas H. G., Hampel U. (2006). Photogrammetric Techniques in Civil Engineering Material Testing and Structure Monitoring. *Photogrammetric Engineering Remote Sensing*, 72(1), 39-45; doi: 10.14358/PERS.72.1.39.
- Mishra R. K., Zhang Y. (2012). A Review of Optical Imagery and Airborne LiDAR Data Registration Methods. *The Open Remote Sensing Journal*, 5, 54-63; doi: 10.2174/1875413901205010054.
- Miyoshi G. T., Imai N. N., Tommaselli A. M. G., Honkavaara E., Näsi R., Moriya É. A. S. (2018). Radiometric Block Adjustment of Hyperspectral Image Blocks in the Brazilian Environment. *International Journal of Remote Sensing*, 39(15-16), 4910-4930. doi: 10.1080/01431161.2018.1425570.
- Molina S., Villa G., Serrano C., Valdepérez M., Domenech E. (2010). A Polynomial Approach for Radiometric Aerial Triangulation. *International Archives of the Photogrammetry, XXXVIII, International Calibration and Orientation Workshop EuroCOW 2010, 10 - 12 February, Castelldefels, Spain.* https://www.researchgate.net/publication/318589922_A_POLYNOMIAL_APPROACH_FOR_RADIOMETRIC_AERIAL_TRIANGULATION (dostęp: 15-09-2020).
- Montes R., Ureña C. (2012). An Overview of BRDF Models. University of Grenada. Technical Report LSI-2012-001. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.923.6560rep=rep1type=pdf> (dostęp: 26-10-2020).
- Mostafa M., Hutton J., (2001). Direct positioning and orientation systems how do they work? What is the attainable accuracy? Proceedings, ASPRS Annual Meeting, St. Luis, Montana, USA. https://www.researchgate.net/publication/228843062_Direct_positioning_and_orientation_systems_How_do_they_work_What_is_the_attainable_accuracy (dostęp: 15-10-2020).
- Nicodemus F. E., Richmond J.C., Hsia J. J., Ginsberg I. W., Limperis T. (1977). In *Geometrical Considerations and Nomenclature for Reflectance*. U.S. National Bureau of Standards, Washington, DC, USA, 67. <https://graphics.stanford.edu/courses/cs448-05-winter/papers/nicodemus-brdf-nist.pdf> (dostęp: 15-09-2020).
- Patel N., Kaushal, B. (2011). Classification of Features Selected Through Optimum Index Factor (OIF) for Improving Classification Accuracy. *Journal of Forestry Research*, 22, 99-105; doi:10.1007/s11676-011-0133-4
- Pepe M., Fregonese L., Scaioni M., (2018). Planning Airborne Photogrammetry And Remote-Sensing Missions With Modern Platforms and Sensors. *European Journal of Remote Sensing*, 51:1, 412-436; doi: 10.1080/22797254.2018.1444945.
- Pepe M., Fregonese L., Scaioni M., (2018). Planning Airborne Photogrammetry And Remote-Sensing Missions With Modern Platforms and Sensors. *European Journal of Remote Sensing*, 51:1, 412-436; doi: 10.1080/22797254.2018.1444945.
- Raizman J. (2012). Leaning Instead of Overlap. Flight Planning and Orthophotos. *GIM International*, VII, 35-38. http://www.visionmap.com/prdPics/files/376_ar_file.pdf (dostęp: 20-09-2020).
- Remondino F., Barazzetti L., Nex F., Scaioni M., Sarazzi D. (2011). UAV Photogrammetry for Mapping and 3D Modeling – Current Status and Future Perspectives. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 38.1, C22. 25-31; 10.5194/isprsarchives-XXXVIII-1-C22-25-2011.
- Rengarajan R., Schott J. R. (2017). Modeling and Simulation of Deciduous Forest Canopy and Its Anisotropic Reflectance Properties Using the Digital Image and Remote Sensing Image Generation (DIRSIG) Tool. *Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 10, 11, 4805-4817; doi: 10.1109/JSTARS.2017.2751539.

- Richter R., Schläpfer D. (2015). Atmospheric/Topographic Correction for Airborne Imagery. ATCOR-4 user guide, 565-02. https://www.rese-apps.com/pdf/atcor4_manual.pdf (dostęp: 20-09-2020).
- Roberts G. (2001). A Review Of The Application of BRDF Models to Infer Land Cover Parameters at Regional and Global Scales. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 25(4), 483-511; doi: 10.1177/030913330102500402.
- Rosu A.-M., Pierrot-Deseilligny M., Delorme A., Binet, R., Klinger Y. (2015). Measurement of Ground Displacement from Optical Satellite Image Correlation Using the Free Open-Source Software Micmac. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 100, 48 – 59; doi: 10.1016/j.isprs.2014.03.002.
- Ryan R. E., Pagnutti M. (2009). Enhanced Absolute and Relative Radiometric Calibration for Digital Aerial Cameras. Photogrammetric Week '09 Dieter Fritsch (Ed.) Wichmann Verlag, Heidelberg. 81-91. <https://phowo.ifp.uni-stuttgart.de/publications/phowo09/100Ryan.pdf> (dostęp: 20-09-2020).
- Schaepman-Strub G., Schaepman M. E., Painter T. H., Dangel S., Martonchik J. V. (2006). Reflectance Quantities in Optical Remote Sensing - Definitions and Case Studies. *Remote Sensing of Environment*, 103 (1), 27–42; 10.1016/j.rse.2006.03.002.
- Schläpfer D., Richter R. (2016). Recent Developments in ATCOR For Atmospheric Compensation And Radiometric Processing of Imaging Spectroscopy Data. *EARSel eProceedings*, 14, , 40–48; 10.12760/02-2015-2-04.
- Scholer H. (1975). On Photogrammetric Distortion. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 6, 761-769. https://www.asprs.org/wp-content/uploads/pers/1975journal/jun/1975_jun_761-769.pdf (dostęp: 15-10-2020).
- Schroth R. W., Wang J., Dun W., Mayr W. (2008). Trends in Digital Photogrammetry from the International Enterprise Perspective. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. XXXVII, 1093 – 1098. <https://studylib.net/doc/11833909/trends-in-digital-photogrammetry-from-an-international-en> (dostęp: 22-09-2020).
- Seifert E., Seifert, S., Vogt, H., Drew, D., Van Aardt J., Kunneke A.; Seifert T. (2019). Influence of Drone Altitude, Image Overlap, and Optical Sensor Resolution on Multi-View Reconstruction of Forest Images. *Remote Sensing*, 11(10), 1252; doi: 10.3390/rs11101252.
- Silva, D. C., Candeias, A. L. B. (2012). Color Restoration of Aerial Photographs, Special Applications of Photogrammetry. [In:] Daniel Carneiro Da Silva (Ed.), Special Applications of Photogrammetry. ISBN: 978-953-51-0548-0 InTech, doi: 10.5772/34029. <http://www.intechopen.com/books/special-applications-of-photogrammetry/colorrestoration-of-aerial-photographs> (dostęp: 23-10-2020).
- Slater Ph. N., Doyle F. J., Fritz N. L., Welch R. (1985). Photographic Systems for Remote Sensing. [W:] Ed. Colwell, R N., Manual of Remote Sensing. Second Edition. American Society of Photogrammetry.
- Stojakovic V. (2008). 3D Modeling based on Photographic Data. *Novi Sad Journal of Mathematics*, 38(3), 65-72. https://www.emis.de/journals/NSJOM/Papers/38_3/NSJOM_38_3_065_072.pdf (dostęp 30-09-2020).
- Stojanovic I., Bogdanova S., Bogdanov M. (2007). Content-Based Image Retrieving Improved by Pixel-Based Search. Proceedings of the 14th International Workshop on Systems, Signals and Image Processing and 6th EURASIP Conference focused on Speech and Image Processing, Multimedia Communications and Services, 377-380; doi: 10.1109/IWSSIP.2007.4381120.
- Study to compare potential usages of different imagery types, Hannover (2019). Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover Institut für Photogrammetrie und GeoInformation (IPI). http://www.ign.fr/publications-de-l-ign/Institut/Actualites/rapport_imagerie2019/study_image_types_may21_2019_open.pdf (dostęp: 12-08-2020).
- Teo T., Wu H. (2015). Radiometric Block Adjustment for Multi-Strip Airborne Waveform Lidar Data. *Remote Sensing*, 7(12), 16831-16848; doi: 10.3390/rs71215856.
- Tmušić G., Manfreda S., Aasen H., James M. R., Gonçalves G., Ben-Dor E., Brook A., Polinova M., Arranz, J. J., Mészáros J., Zhuang R., Johansen K., Malbeteau, Y., Pedroso de Lima I., Davids C., Herban S., McCabe M. F. (2020). Current Practices in UAS-based Environmental Monitoring. *Remote Sensing*, 12, 1001; doi: 10.3390/rs12061001.
- Vicent J., Verrelst J., Sabater N., Alonso L., Rivera-Caicedo J. P., Martino L., Muñoz-Marí J., Moreno J. (2020). Comparative Analysis of Atmospheric Radiative Transfer Models Using the Atmospheric Look-Up Table Generator (ALG) toolbox (version 2.0). *Geoscientific Model Development*, 13, 1945-1957; doi: 10.5194/gmd-13-1945-2020.
- Vijayaraj V., Younan, N. H., O'Hara Ch. (2006). Quantitative Analysis of Pansharpened Images. *Optical Engineering - OPT ENG*. 45(4), 046202; doi: 10.1117/1.2195987.

- Wanner W., Li X., Strahler A. H. (1995). On the derivation of kernels for kernel-driven models of bidirectional reflectance. *Journal of Geophysical Research*, 100 (D10), 21077-21089.
- Wegmann H. (2002). Image Orientation by Combined (A)AT with GPS and IMU. ISPRS Comission I MidTerm Symposium in conjunction with Pecora 15/Land Satellite Information IV Conference. 2002. Denver, Co, USA; doi: 10.1.1.439.1017.
- Wen J., Liu Q., Xiao Q., Liu Q., You D., Hao D., Lin X. (2018). Characterizing Land Surface Anisotropic Reflectance over Rugged Terrain: A Review of Concepts and Recent Developments. *Remote Sensing*, 10(3), 370; doi: 10.3390/rs10030370.
- Westoby M. J., Brasington J., Glasser N. F., Hambrey M. J., Reynolds J. M. (2012). 'Structure-from-Motion' Photogrammetry: A Low-Cost, Effective Tool for Geoscience Applications. *Geomorphology*, 179, 300-314; doi: 10.1016/j.geomorph.2012.08.021.
- Wójcik S. (1989). Zdjęcia lotnicze. PPWK. W-wa.
- Yilmaz H. M., Yakar M., Yildiz F. (2008). Digital Photogrammetry in Obtaining of 3D Model Data of Irregular Small Objects. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXVII, B3b. Beijing, 125-130. https://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/3b_pdf/23.pdf (dostęp: 15-10-2020).
- Yu, W. (2004). Practical Anti-Vignetting Methods for Digital Cameras. *IEEE Transaction on Consumer Electronics*, 50, 4, 975-983; doi: 10.1109/TCE.2004.1362487.
- Zhao H., Zhang B., Shang J., Liu J., Li D., Chen Y., Zuo Z., Chen Z. (2018). Aerial Photography Flight Quality Assessment with GPS/INS and DEM Data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 135, 60-73; doi: 10.1016/j.isprsjprs.2017.10.015.
- Zheng Y., Lin S., Kang S.B. (2009). Single-Image Vignetting Correction. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 31, 12, 2243-2256; doi: 10.1109/TPAMI.2008.263.
- Ziliwu M. S., Zarlis M., Situmorang Z., Harahap A. S. (2018). Optimum Index Factor and Cloud Removal on the Landsat Imagery Data Processing. *Journal of Physics: Conference Series*, 1116, 2, 022048; doi: 10.1088/1742-6596/1116/2/022048.

5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.

Najważniejsze osiągnięcia naukowe związane są działalnością badawczą, obejmująca również współpracę z ośrodkami naukowymi w Polsce i zagranicą, dotyczą Pracowni Teledetekcji Środowiskowej i Gleboznawstwa. Pracownia istnieje jako jednostka Instytutu Geografii Fizycznej i Kształtowania Środowiska Przyrodniczego, WNGiG UAM (przed rokiem 2019 jednostka nosiła nazwę Zakład Gleboznawstwa i Teledetekcji Gleb). Do roku 2018 kierownikiem jednostki był profesor Jerzy Cierniewski, a następnie profesor Jan Piekarczyk. Najpierw byłem zatrudniony na stanowisku asystenta, od 2003 roku adiunkta, następnie wykładowcy.

Moja działalność naukowo-badawcza w ramach jednostki wiązała się z następującymi zagadnieniami:

- 1) Wpływem szorstkości powierzchni na cechy odbiciowe gleby w zakresie widzialnym i bliskiej podczerwieni w aspekcie zmienności kierunkowego rozkładu odbicia (zjawisko dwukierunkowego odbicia spektralnego)

Moja aktywność dotycząca pomiarów szorstkości wiązała się z uczestnictwem jako wykonawca w projektach, w których badania dotyczyły kierunkowej zmienności odbicia, na co szorstkość jako cecha geometryczna powierzchni gleby może mieć bardzo duży wpływ (Wykaz osiągnięć ... p.II.9.A.1, p.II.9.A.5, p.II.9.A.6, p.II.9.A.7, p.II.15.A.3). W ramach realizowanych projektów opracowałem metodykę wykonywania zdjęć stereoskopowych klasyczną techniką fotograficzną i technikę pomiarów wysokościowych w regularnej siatce dla glebowych powierzchni testowych, dostosowując ją do dostępnego oprogramowania fotogrametrycznego opartego o pojedynczą stereoparę zdjęć. Stosowano wówczas oprogramowanie fotogrametryczne zawarte w systemie TNTmips. Wykorzystując statywy od instrumentów geodezyjnych stworzono możliwość wykonywania kilku zdjęć pionowych nad powierzchnią testową analogicznie do sposobu fotografowania szeregu zdjęć lotniczych. Poprzez poziomowanie siatki referencyjnych punktów pomiarowych poszczególne modele uzyskiwane z kilku stereopar łączono w jeden większy cyfrowy model powierzchni testowej. W czasie realizacji kolejnych projektów metodykę zmieniano dostosowując ją do nowych możliwości fotografii cyfrowej. Opracowano również metodykę obliczeń wskaźników szorstkości w oparciu o wykorzystanie rastrowego i wektorowego modelu danych. W metodyce uwzględniono też korekcję cyfrowego modelu wysokościowo dotyczącą usunięcia ogólnego nachylenia powierzchni badawczej metodami trendu powierzchniowego (zarówno w terenie jak i w laboratorium - dla przypadków dużych prób badawczych). Od 2008 roku w pomiarach szorstkości wykonywanych w laboratorium stosowano również skaning laserowy wykorzystując urządzenie Konica Minolta Vivid 9i w zestawie z obrotowym stołem, na którym umieszczano próby glebowe. Zastosowanie nowoczesnych programów fotogrametrycznych do modelowania kształtu (Agisoft Metashape Professional, PhotoModeller) pozwoliło uprościć metodykę fotografowania powierzchni glebowych w celu uzyskania parametrów szorstkości, zwłaszcza w przypadku pomiarów polowych. Kolejnym krokiem było wykorzystanie danych obrazowych pozyskiwanych z niskiego pułapu lotniczego za pomocą bezzałogowych statków powietrznych). W ostatnich latach zastosowano metodykę pozyskiwania informacji o szorstkości do potrzeb spektralnych analiz laboratoryjnych stosując makrofotografię (stosując dodatkowe pierścienie wydłużające ogniskowe, czy zdjęcia wykonywane z bliskiej odległości przez smartfony). W ramach pracowni magisterskich, inżynierskich czy zajęć dla doktorantów odpowiadałem w Zakładzie za nabycie przez uczestników tych zajęć umiejętności posługiwania się metodami fotografii i fotogrametrii.

W pracy Cierniewskiego i in. (1998, Wykaz osiągnięć ... p.II.4.A.1) zastosowano model geometryczny do symulowania odbicia od zbrylonej gleby. Analizowano kierunkowe symulowane zabiegi agrotechniczne różnie zorientowane względem kierunku oświetlenia i obserwacji. Przeanalizowano i wykazano zgodność zaprezentowanego modelu z rzeczywistymi wynikami kierunkowych pomiarów od powierzchni zbrylonej gleby w zakresie widzialnym na przykładzie wybranej długości fali (650 nm). Wskazano duże na duże różnice w wielkości odbitego promieniowania w zależności od kierunku obserwacji, przy największym zróżnicowaniu w głównej płaszczyźnie słonecznej i najmniejszym w płaszczyźnie do niej prostopadłej. Wiedza o wielkości kierunkowego zróżnicowania odbicia jest bardzo istotna w interpretacji danych teledetekcyjnych pozyskiwanych sensorami o stożkowym polu widzenia (np. lotnicze kamery pomiarowe). Badania wykonano przy współpracy dr Adama Marlewskiego z Politechniki Poznańskiej.

W pracy Cierniewskiego i in. (2014, Wykaz osiągnięć ... p.II.4.B.14) oceniono dopasowanie danych o dwukierunkowym hiperspektralnym współczynniku odbicia od powierzchni gleby poddanej działaniu narzędziom agrotechnicznym (kultywatora, brony i włóki), zarejestrowanych w warunkach polowych - przy oświetleniu

bezpośrednim i rozproszonym promieniowaniem słonecznym do odpowiadającym im danych zmierzonych w laboratorium przy bezpośrednim sztucznym oświetleniu dla tych gleb i przy podobnym stanie szorstkości powierzchni. Oba rodzaje danych zmierzono za pomocą tego samego spektrofotometru ASD FieldSpec 3 Pro dołączonego do urządzeń goniometrycznych, obserwujących powierzchnie gleby w tych samych kierunkach i skierowanych na środek obserwowanej powierzchni. Najgorsze średnie dopasowanie dla analizowanych powierzchni gleby nie przekraczało 36%. Dopasowanie było słabsze dla gleb ciemniejszych o niższym poziomie odbicia, zwłaszcza przy niższych kątach zenitalnych Słońca. Uzyskane wyniki wskazują, że połączenie danych dwukierunkowego współczynnika odbicia gleby zebranych w terenie i laboratorium w jednym zestawie może powodować błędy. Ważnym elementem tych badań było kontrolowanie dopasowania kształtu rzeczywistych powierzchni badawczych i ich spreparowanych laboratoryjnych odpowiedników kontrolowano poprzez pomiary szorstkości (polowe i laboratoryjne). Stwierdzono, że szorstkość próbek gleby powinna być taka, by stosunek długości krótszej osi pola widzenia czujnika do wartości HSD nie przekraczał 15. Ideę reprezentatywności próbki względem pola widzenia rozwinęto następnie w pracy Kaźmierowskiego (2019). Praca powstała przy współpracy profesora Bogdana Zagajewskiego z Uniwersytetu Warszawskiego.

W pracy Piekarczyka i in. (2016, Wykaz osiągnięć ... p.II.4.B.14) określono wpływ szorstkości powierzchni gleby na krzywe spektralne mierzone spektrometrem ASD FieldSpec-3 przy użyciu trzech technik pomiarowych. Odbicie spektralne dla 20 gleb poddanych naturalnemu wysuszeniu zmierzono w warunkach naturalnego oświetlenia słonecznego (PSS-O) i w warunkach laboratoryjnych (PSS-L) porównano z odbiciem dyfuzyjnymi tych samych gleby zarejestrowanym przy użyciu adaptera Muglight (ML). Pomiary PSS-O gleb wykonano przy trzech poziomach szorstkości powierzchni wyrażonej parametrami odchylenia standardowego wysokości (HSD) i wskaźnika zaokrąglenia (T3D). Współczynniki szorstkości obliczano na podstawie cyfrowych modeli powierzchni badawczych, obliczanych z oparciu i zdjęcia cyfrowe i modelowanie fotogrametryczne. Krzywe odbicia spektralnego rozróżnionych próbek glebowych (ML) były silniej skorelowane z odpowiednikami PSS-L niż z PSS-O, a średni współczynnik korelacji (R^2) krzywych spektralnych przy trzech poziomach szorstkości wynosił odpowiednio 0,99 i 0,95, choć ta różnica nie była duża. Różnice pomiędzy krzywymi spektralnymi z różnych sposobów pomiarów (PSS-O, PSS-L i ML) były widoczne w poziomie odbicia, natomiast zasadniczo zgodne co do kształtu. Wraz ze wzrostem szorstkości (większe wartości parametrów HSD i T3D) malał poziom odbicia PSS w stosunku do ML, w przypadku pomiarów PSS-O nawet o 60%. Tak dużych różnic można się spodziewać zwłaszcza w przypadku gleb o dużej zawartości frakcji ilastej i pyłowej. Różnica względna (RD) między krzywymi odbicia z pomiarów PSS-L i PSS-O względem pomiaru ML była lepiej wyjaśniona przez zmiany parametru szorstkości T3D ($R^2 = 0,82$), niż HSD ($R^2 = 0,68$).

Publikacja Kaźmierowskiego i in. (2019, Wykaz osiągnięć ... p.II.4.B.21) dotyczy wpływu szorstkości powierzchni gleby na wielkość reprezentatywnej powierzchni elementarnej (REA), która zapewnia uzyskanie powtarzalnych krzywych spektralnych. Powierzchnie testowe formowano z materiału powierzchniowego poziomu glebowego dla pięciu różnych gleb. Na tacach formowano trzy różne stany szorstkości powierzchni z naturalnymi agregatami i bryłami gleby. Pomiary spektralne przeprowadzono w warunkach laboratoryjnych, stopniowo zwiększając wysokość spektrometru ASD FieldSpec 3 Pro nad powierzchnią testową, prostopadle do niej. Oświetlono ją wzdłuż jednej płaszczyzny dla kątów zenitalnych. Szorstkość powierzchni określano na podstawie danych uzyskanych za pomocą skanera laserowego i wyrażano poprzez parametr odchylenia standardowego wysokości (HSD). W wyrażeniu relacji pomiędzy średnicą pola widzenia i szorstkością powierzchni obserwowanej przez radiometr, zaproponowano kwalifikator DRR jako stosunek średnicy pola widzenia (DFOV) do HSD wyrażającego szorstkość tego pola. Wyższe wartości DRR oznaczają wystarczającą wielkość pola obserwacji/ pomiaru do uzyskania stabilnych krzywych spektralnych. Wyniki przeprowadzonych badań wykazały, że stabilne pomiary spektralne uzyskano dla DRR wynoszącego około 60, jednak wyeliminowanie szumu osiągnięte było przy DRR na poziomie 200. Wyznaczenie parametrów szorstkości powierzchni testowych w przypadku pomiarów laboratoryjnych powinno się odbywać przed pomiarami spektralnymi, pozwala to bowiem wyznaczyć odpowiednią wysokość spektrometru nad mierzoną powierzchnią. Zarekomendowano, biorąc pod uwagę kryteria wysokości pomiaru spektralnego dla różnych stanów szorstkości powierzchni, wykonywanie pomiarów szorstkości na podstawie zdjęć z bezzałogowych statków powietrznych wraz z polowymi pomiarami spektralnymi.

W pracy Młynarczyka i Królewicza (2021, Wykaz osiągnięć ... p.II.2.B.21) zastosowano wcześniej opracowane metody obliczania szorstkości do oszacowania stopnia zniszczenia powierzchni kostki brukowej chodnika, wystawionej na działanie warunków zewnętrznych. Na podstawie szczegółowego modelu powierzchni, wykonanego na podstawie zdjęć ze smartfonu, wyliczono współczynniki szorstkości HSD i T3D i na tej zniszczenie

powierzchni kostek wyrażono w trzech klasach. Stwierdzono również, iż współczynnik T3D okazał się bardziej odporny na lokalne zmiany nachylenia powierzchni chodnika niż w wskaźnik HSD.

2) Wpływ szorstkości gleby na przebieg dobowych zmian szerokopasmowego albedo

W pracy Cierniewskiego i in. (2013, Wykaz osiągnięć ... p.II.4.B.13; 2012, Wykaz osiągnięć ... p.II.2.B.11) przedstawiono rezultaty badań nad wpływem szorstkości powierzchni gleby na przebiegi szerokopasmowego albedo w warunkach czystego nieba od południa do zachodu słońca. Pomiar albedo prowadzono przy różnych stanach szorstkości powierzchni gleby. Powierzchnie kształtowano poprzez użycie różnych narzędzi uprawowych. Wykazano, że relacja pomiędzy przebiegiem szerokopasmowego albedo gleby a kątem zenitalnym słońca (θ_s) jest wyraźnie zależna od szorstkości. Uzyskane zależności pozwalają na przewidywanie zmienności albedo gleb położonych na danej szerokości geograficznej w dowolnym momencie przy znanej szorstkości oraz wyznaczyć czas odnoszący się do średniej dobowej wartości albedo. Na podstawie przeanalizowanych przykładów stwierdzono, że instrument MODIS na platformie EOS Terra, przekraczający równik o 10:30, jest znacznie mniej użyteczny do wyznaczenia średniodobowego albedo niż dane uzyskiwane z satelity NOAA-15, przekraczającego równik o 7:30.

W pracy Cierniewskiego i in. (2014, Wykaz osiągnięć ... p.II.4.B.13) przedstawiono wyniki badań nad poprawnością obliczeń szerokopasmowego albedo gleb uprawnych na podstawie wąskopasmowego współczynnika odbicia dwukierunkowego (BRF) mierzonego z wielu kierunków prototypowym urządzeniem goniometrycznym z wykorzystaniem radiometru hiperspektralnego, w laboratorium na tych próbkach tej samej gleby i przy szorstkości zbliżonej do tej z pomiarów polowych. Badania prowadzono dla trzech typów gleb - czarnej ziemi, gleby płowej i gleby płowej zaciekowe, natomiast szorstkość formowano przez pług, bronę talerzową, bronę aktywną i bronę wygładzającą. Wysoką zgodność dla wartości albedo gleb obliczonego za pomocą zaproponowanego równania w porównaniu danymi zmierzonymi w polu osiągnięto dla prób o niskiej szorstkości.

Badania i prace Cierniewskiego i in. (2015, Wykaz osiągnięć ... p.II.4.B.16; Wykaz osiągnięć ... p.II.4.B.15) przygotowano we współpracy z profesorem Arnona Karnielim i Alexandrem Goldberga z Ben-Gurion University, Negev w Izraelu. Przedstawiono w tych pracach wyniki badań nad ilościowym opisem wpływu szorstkości powierzchni gleby na dobową zmienność szerokopasmowego w warunkach pozbawionego chmur nieba. Badania polowe prowadzono w Polsce i Izraelu, na glebach różniących się zarówno szorstkością i jak i jasnością. Szorstkość kształtowaną przez różne narzędzia rolnicze, zmienianą przez deszcz lub sztuczne deszczowanie, wyrażano za pomocą dwóch wskaźników szorstkości (HSD i T3D). Wyniki pomiarów pokazują, że szorstkość gleby wpływała na ogólny poziom albedo od danej powierzchni oraz na dobową zmienność przedstawianą w funkcji kąta zenitalnego Słońca (θ_s), mierzoną od lokalnego południa do około 75-80°. Stwierdzono, że wskaźniki szorstkości precyzyjnie określają albedo czasie lokalnego górowania słońca tylko gleb o tej samej jasności. Wprowadzenie danych o zawartości węgla organicznego (SOC) i węglanów (CaCO_3) jako zmiennych dominujących do zależności wyrażającej zmienność albedo w połączeniu z jednym ze wskaźników szorstkości, pozwoliło wystarczająco dokładnie wyznaczać nachylenie wykresu albedo względem θ_s dla zbioru wszystkich analizowanych gleb. Zauważono, że dla gleb o bardzo dużej szorstkości nie obserwuje się prawie żadnego wzrostu wartości albedo jeśli kąt zenitalny jest mniejszy od 75 stopni. Natomiast dla gleb o gładkiej powierzchni występował stopniowy wzrost albedo.

W kolejnych pracach (Cierniewski i in. 2017, Wykaz osiągnięć ... p.II.4.B.18; Cierniewski i in. 2016, Wykaz osiągnięć ... p.II.2.B.17), na większym zbiorze 108 powierzchni gleb, dokonano predykcji dobowych zmian albedo na podstawie hiperspektralnych dane odbiciowych zmierzonych od powierzchni glebowych w warunkach laboratoryjnych. Badania te wykazały, że dobową zmienność albedo gleby można oszacować z dużą dokładnością, wyrażoną przez współczynnik korelacji $R^2 = 0,89$ i niewielką wielkość RMSE = 0,029, przy użyciu wskaźnika T3D i danych uzyskanych z widm hiperspektralnych transformowanych do drugiej pochodnej, zredukowanych do zaledwie pięciu wyznaczonych długości fal. Wykorzystanie transformowanych danych spektralnych w połączeniu z T3D zapewniło podobnie wysoką dokładność szacowania albedo jak z wykorzystaniem wartości opisujących zawartość węgla organicznego i węglanów.

3) Wpływ szorstkości odkrytych gleb na bilans promieniowania krótkofalowego

W pracach Cierniewskiego (2015, Wykaz osiągnięć ... p.II.2.B.15; 2017, Wykaz osiągnięć ... p.II.4.B.18) opisano wieloetapową procedurę szacowania rocznej dynamiki promieniowania krótkofalowego odbijanego od gleb pozbawionych roślinności po ich wygładzeniu, najpierw zaoranych lub bronowanych w obszarze Polski. Uwzględniono przestrzenne zróżnicowanie jednostek glebowych (z map glebowych) i właściwości spektralne (z

obrazów Landsat 8, wykorzystując cyfrowe mapy użytkowania ziemi, a także zbiory danych glebowych (LUCAS). Na podstawie danych Landsat oszacowano roczną zmienność gruntów niepokrytych roślinnością jako jedną z danych wejściowych do szacowania bilansu promieniowania. Korzystając z właściwości odkrytych gleb (SOC, CaCO₃), oszacowano dobowe zmiany albedo gleb przy użyciu opracowanej procedury przy założeniu szorstkości odpowiadających orce pługiem (Pd), bronie talerzowej (Hd) i siewnikowi lub bronie wygładzającej (Hs). Po wygładzeniu rocznego rozkładu ilości promieniowania odbitego stwierdzono jedno minimum i dwa maksima. Oszacowano, że dla maksimum wiosennego (po siewie) i letniego (po zbiorach), radiacja jako część dziennej energii docierającej do powierzchni, sięga odpowiednio około 2,2%-2,3% i 1% promieniowania krótkofalowego dla gleb po orce i po bronie talerzowej.

Podobne badania wykonano dla obszaru Izraela i opublikowano w pracy Cierniewskiego i in. (2018, Wykaz osiągnięć II.4.B.20) uwzględniająca także trzy stany szorstkości (pług, brona talerzowa i wygładzająca). Praca powstała we współpracy z profesorem A. Karnielim i profesorem E. Ben-Dorem z Ben-Gurion University, Negev w Izraelu. Obszar odkrytych gleb w obrębie konturów gruntów ornych określono na podstawie obrazów Landsat 8. Promieniowanie odbite od odkrytych gleb obliczono przy użyciu równań estymujących zmiany dobowego albedo w funkcji kąta zenitalnego Słońca (na podstawie szorstkości) oraz na podstawie danych hiperspektralnych izraelskich próbek gleby, zgodnie z metodyką Cierniewskiego i in. (2017). W modelowaniu uwzględniono roczną zmienność gruntów niepokrytych roślinnością oszacowaną na podstawie danych obrazowych Landsat. Wyniki modelowania pokazały roczną zmienność ilości promieniowania krótkofalowego odbitego od wszystkich odkrytych gleb terenów uprawnych. Minimalne promieniowanie wystąpiło zimą, między 1 a 70 dniem roku (DOY), a maksimum zostało zidentyfikowane latem między 200 a 250 DOY, osiągając odpowiednio około 3–5 PJ/km²/dzień i 16–23 PJ/km²/dzień, przy czym niższe wartości zakresów odpowiadają orce, a wyższe glebie wygładzonej.

Praca Cierniewskiego i in. (2021, Wykaz osiągnięć... II.4.B.25) była kontynuacją badań opublikowanych wcześniej (2018, Wykaz osiągnięć... II.4.B.25), dotyczących ilościowego określenia sezonowej dynamiki odbitego promieniowania krótkofalowego netto przez grunty orne położone w kontrastujących ze sobą środowiskach Polski i Izraela. Praca powstała we współpracy z profesorem Jean-Louis Roujean Center for the Study of the Biosphere from Space (Tuluza, Francja). W pracy wykorzystano realne dane o stanie atmosfery przez cały rok 2014, korzystając z danych instrumentu Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager (SEVIRI) na umieszczonego satelity Meteosat drugiej generacji (MSG). Stwierdzono, że w warunkach zachmurzonego nieba ilość promieniowania krótkofalowego w ciągu dnia była w Polsce i Izraelu odpowiednio o około 40–50% i 10% niższa w porównaniu z warunkami bezchmurnego nieba.

4) Zastosowanie hiperspektralnych danych odbiciowych w zakresie VIS-NIR do ilościowej oceny charakterystyk glebowych

Praca Cierniewskiego i in. (2010, Wykaz osiągnięć ... p.II.4.B.21) powstała we współpracy z profesorem Arnonem Karnielim i Ittai Hermannem z Ben-Gurion University, Negev w Izraelu. Wyniki badań tej pracy dotyczyły zmienności krzywych spektralnych powierzchni pustyńnych analizowanych w mikroskali, w zależności od warunków oświetlenia w aspekcie ograniczania ilości światła dochodzącego do powierzchni. Eksperyment polowy na pustyni Negev, zdjęcia kamerą hiperspektralną HS firmy Specim oraz skaniny laserowe powierzchni pomiarowych laserem Konica Minolta Vivid 9i zostały wykonane w Izraelu, natomiast przetwarzanie obrazów i ich kalibrację oraz obliczenia trójwymiarowego modelu powierzchni badawczej wykonano w Polsce. Praca prezentuje wpływ ograniczenia oświetlenia hemisfery światła bezpośredniego na zmiany kształtu i poziomu krzywej spektralnej powierzchni odbijającej tego samego rodzaju. Stwierdzono, iż dobrze znane obniżenia odbicia w kształcie krzywej spektralnej spowodowane właściwościami absorpcyjnymi O₂ i H₂O zawartych w atmosferze, w przypadku krzywych pozyskanych w zacieleniu zamieniają się w piki odbicia.

Prace Cierniewskiego i in. (2010, Wykaz osiągnięć ... p.II.4.B.8) oraz Bajorskiego i in. (2014, Wykaz osiągnięć ... p.II.4.B.12) powstały w wyniku współpracy z Instytutem Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa, który udostępnił 212 prób glebowych i wyniki badań ich właściwości, zbierane w ramach programu Monitoringu Chemizmu Gleb Ornych Polski (IUNG 2005) i profesora Adama Bajorskiego z Rochester Institute of Technology z Nowego Jorku. W Zakładzie Gleboznawstwa dokonano pomiarów spektralnych próbek glebowych uzyskując krzywe spektralne i wykonano obliczenia modelowania, zmierzającego do powiązania właściwości spektralnych z ich właściwościami. W pracy Cierniewskiego i in. (2010) wykazano, że wśród różnych testowanych przekształceń pierwsza pochodna współczynnika odbicia gleby była najsilniej skorelowana z udziałem poszczególnych frakcji granulometrycznych, węgla organicznego, Fe i CaCO₃. Krzywe spektralne pogrupowano nienadzorowaną metodą Warda według

kryterium odległości Euklidesowej na podzbiory o różnych kształtach i poziomach odbicia spektralnego. Grupowanie to zwiększyło korelację między właściwościami gleb i danymi spektralnymi. Najwyższe wartości R² dla zawartości ilu i Fe bez grupowania wynoszące 0,64 i 0,56 po grupowaniu wzrosły odpowiednio do 0,87 i 0,80. W pracy Bajorskiego i in. (2014) przedstawiono zastosowanie grupowania krzywych spektralnych w celu podniesienia dokładności estymacji charakterystyk gleby takich jak: zawartość frakcji piasku i ilu, węgla organicznego, azotu całkowitego, pojemności wymiennej kationów i sumy zasad. Badania wykonano na tym samym zbiorze danych, wykorzystanym uprzednio w pracy Cierniewskiego i in. (2010). Modelowanie wykonano metoda PLS. Wskazano, że w praktycznym zastosowaniu dla danego zbioru danych należy wdrożyć dwuetapową procedurę, składającą się w pierwszym etapie z analizy walidacji krzyżowej w celu wskazania najlepszej transformacji danych odbiciowych, metody grupowania i liczby klastrów. W drugim kroku najlepsza kombinacja stosowana jest do predykcji właściwości gleb na całym zbiorze danych. Poprawa osiągnięta przez zaproponowaną procedurę zmniejszyła średni błąd kwadratowy walidacji krzyżowej w zakresie od 24 do 49%.

5) Zastosowanie wielokanałowych zobrażeń satelitarnych w badaniach nad zróżnicowaniem pokrywy glebowej

W pracy Piekarczyka i in. (2010 Wykaz osiągnięć ... p.II.4.B.10;) przedstawiono wykorzystanie zależności ilościowej między wielkością zasobów sumy zasad (TEB) gleb nieużytków porolnych a odbiciem spektralnym zarejestrowanym na wielokanałowym obrazie satelitarnym ASTER do tworzenia map żyzności gleb. Oszacowane zasoby TEB w badanych nieużytków wykorzystano do opracowania map żyzności gleb w trzech kategoriach (TEB: <75000,7500-45000, >45000 me/m²). Mapy te porównano z mapami glebowo-rolniczymi wskazując na podobieństwa i różnice zasięgów klas żyzności i kompleksów rolniczej przydatności gleb uwzględniając gatunek gleby (II.D15). W kolejnej pracy Piekarczyka i in. (2012, Wykaz osiągnięć ... p.II.4.B.12) wykazano, że zmienność przestrzenna biomasy roślinnej na nieużytkach porolnych jest dobrze powiązana ze zmianami zmiany jasności pikseli na zdjęciach satelitarnych ASTER Wyniki pokazały, że na podstawie cech odbiciowych roślinności oszacować zapasy TEB w warstwie do 50 cm grubości gleby. Prognozy dotyczące zapasów TEBAB były dokładne dla obrazów z kwietnia i maja, w czasie największej dynamik przyrostu zielonej biomasy, a masy nefotosyntetyzującej (NPV) jest niski. Wykazano również, że spektralna odpowiedź pokrywy roślinnej może dostarczyć złożoną i zsyntetyzowaną informację o warunkach glebowych dla wzrostu roślin. Wyniki badań przedstawione przez Kaźmierowskiego i in. (2016, Wykaz osiągnięć ... p.II.7.34; 2012, Wykaz osiągnięć ... p.II.7.25) wykazały natomiast, że w przypadku szacowania niektórych charakterystyk poziomu uprawnego gleby (SOC, pHH₂O, ekstrahowane metodą Mehlich-3 kationy Ca, Mg, Cu, Mn, Fe) ośmiokanałowe zobrażenia satelitarne WorldView-2 gleby pozbawione roślinnej posiadały potencjał informacyjny zbliżony do laboratoryjnych pomiarów hiperspektralnych.

6) Wpływ szorstkości powierzchni terenu, rzeźby terenu i warunków fotografowania, oświetlenia i obserwacji na obraz rejestrowany na zdjęciach lotniczych

Od samego początku współpracy z profesorem Cierniewskim w Zakładzie Gleboznawstwa i Teledetekcji Gleb główne zainteresowania badawcze skupiały się na zagadnieniach w bliższy lub dalszy sposób związanych z dwukierunkowym odbiciem spektralnym od powierzchni gleb. Od samego początku moje zainteresowania tym zjawiskiem związane były z jego wpływem na dane pozyskiwane techniką fotograficzną (zapisywanych w formie analogowej lub cyfrowej), co powiązane jest również z wpływem warunków atmosferycznych i wpływem układu optycznego o stożkowym polu widzenia - co całościowo wiąże się z zagadnieniami kalibracji radiometrycznej obrazów. Nabyte w tym zakresie kompetencje, głównie poprzez samokształcenie, wykorzystane zostały w wielu pracach naukowych, w których przygotowaniu uczestniczyłem jako współautor. Wyrazem opisanych zainteresowań były samodzielne publikacje naukowe, prezentacje na konferencjach, praca doktorska czy w końcu rozprawa habilitacyjna.

W pracy (2000, Wykaz osiągnięć p.II.4.A.2.) analizowano zmienność jasności powierzchni piaszczystej fotografowanej w różnych warunkach oświetlenia i obserwacji wykorzystując przygotowany model formy o znanych parametrach nachyleń i orientacji stoków fotografowany w układzie szeregow analogicznie do fotografii lotniczej. Jasność powierzchni fotografowanego modelu wyrażono za pomocą gęstości optycznej. Stwierdzono, iż jasność powierzchni piaszczystej była najbardziej zależna od kąta padania promieni słonecznych. Powierzchnie piaszczyste były najjaśniejsze wtedy, gdy promienie słoneczne padały na nie niemal prostopadle. Najsilniejszy wpływ nachylenia i wystawy stoku zaobserwowano w głównej płaszczyźnie słonecznej W przypadku zmiany pozycji

obserwacji jasność powierzchni piaszczystej ulegała zmianie. Była ona jaśniejsza gdy była obserwowana odsłonecznie.

W pracy (2000, Wykaz osiągnięć P.II.4.A.3) analizowano zmienność rzeczywistych powierzchni piaszczystych fotografowanych na zdjęciach lotniczych w okolicach Łeby. Jasność powierzchni piaszczystej wyrażano gęstością optyczną mierzoną za pomocą skanera poligraficznego w skali szarości. Surowe dane pomiarowe korygowano pod kątem wpływu układu optycznego (winietowanie). Stwierdzono, główną przyczyną zmian jasności powierzchni piaszczystych jest kąt padania promieni słonecznych. Przy występującym zróżnicowaniu tego kąta w zakresie od 23 do 62 stopni, zmienność jasności suchego piasku osiągała 30 % pełnej zmienności gęstości optycznej. Zmiana kierunku obserwacji pomiędzy kolejnymi zdjęciami powodowała zmianę jasności na poziomie 10-25% zakresu gęstości optycznej, którym rejestrowano te powierzchnie.

W pracy Królewicza z 2003 roku (Wykaz osiągnięć ... P.II.4.A.3) zaprezentowano wyniki badań nad wpływem dwukierunkowego odbicia spektralnego na jasność wydmowych powierzchni piaszczystych odfotografowanych w zmieniających się warunkach oświetlenia i obserwacji. Jasność powierzchni badawczych wyrażano gęstością optyczną mierzoną za pomocą skanera poligraficznego na negatywach zdjęć lotniczych w zakresach spektralnych RGB. Przed analizą skorygowano wpływ ziarnistości filmu i układu optycznego kamery lotniczej. Zmienność jasności powierzchni piaszczystych opisano za pomocą odpowiednio dopasowanych funkcji matematycznych.

W pracy Królewicza (2009, Wykaz osiągnięć ... P.II.4.B.5) zaprezentowano metodę szacowania i korekcji wielkości winietowania opartą na wyznaczeniu na zdjęciu linii prostopadłej do głównej płaszczyzny słonecznej, na której wpływ dwukierunkowego odbicia jest prawie nie zauważalny (dlatego na tej linii można szacować wielkość winietowania). Na tej linii szacowano współczynniki wielomianu do korekcji winietowania na całym zdjęciu. Zaproponowana metoda przetestowano na zbiorze kolorowych zdjęć lotniczych (zeskanowanych zdjęć analogowych). Użyteczność tej metody pozwala dopasowanie współczynników do zmieniającej się wartości przystony.

W pracy Królewicza (2010, Wykaz osiągnięć ... P.II.4.B.9) analizowano wpływ dwukierunkowego zjawiska odbicia, w tym szczególnie warunków obserwacji na zmienność jasności obiektu fotografowanego na kolejnych zdjęciach lotniczych. W pracy wykorzystano zdjęcia lotnicze z kamery cyfrowej DMC I, pozbawione wpływu winietowania - skorygowanego oprogramowaniem wykorzystywanym postprocesingu zdjęć. Zmiany jasności wskutek odmiennej pozycji kamery dla wyznaczonych obiektów w czterech kanałach spektralnych wynosiły od 3DN (0.07% do 29% zakresu rozdzielczości radiometrycznej (12-bit) do 1162DN (28%), średnio 128 DN (3%). Dla całego bloku zdjęć lotniczych (131 zdjęć), które są w dyspozycji autora, a nie są bezpośrednio wykorzystywane w niniejszej pracy, przeciętnie 95% wszystkich pikseli mieści się w zakresie 1200 jednostek DN. W tym kontekście średnie zmiany jasności wskutek zmiany pozycji kamery na kolejnych zdjęciach stanowią już średnio 10% a nie 3% (w odniesieniu do pełnego zakresu rozdzielczości radiometrycznej).

7) Zmienność rzeźby terenu w strefie brzegowej

W latach 2001–2007 na odcinku długości 250 m strefy brzegowej na Mierzei Łebskiej, obejmującym obszar 2,5 ha plaży i wału wydmorego, prowadzono rokrocznie pomiary wysokościowe metodą tachimetrii. Wyniki opublikowano w pracy naukowej w 2008 roku (Wykaz osiągnięć ... p.II.4.B.3). Na podstawie danych z pomiarów geodezyjnych stworzono cyfrowe modele terenu i na ich podstawie, obliczono bilanse piasku w obszarze badań poprzez porównanie wartości rzędnych dla wszystkich możliwych okresów – jednorocznych i wieloletnich. Średnio w okresach jednorocznych transport objął około 13,3% kubatury obszaru badań, czyli trzy razy więcej niż wynika to z pracy MISZALSKIEGO (1973), analizującego przede wszystkim duże formy wydmore. Maksymalnie w okresie jednorocznym, 2004–2005, przemieszczeniu uległo ponad 14,5 tys. m³ piasku na obszarze 2,38 ha, co stanowiło około 20% kubatury powierzchni badawczej. Tak duża wielkość transportu wiązała się z dwumiesięcznym okresem braku opadów atmosferycznych. Średnia wielkość transportu piasku dla powierzchni 1 m² zmieniała się od 0,31 m³ do 0,67 m³ w okresie prowadzonych badań.

MISZALSKI J., (1973): Współczesne procesy eoliczne na Pobrzeżu Słowińskim. Studium fotointerpretacyjne. Dok. Geogr., nr 3.

Współpraca z Uniwersytetem Przyrodniczym w Poznaniu (dawniej Akademia Rolnicza) obejmowała:

1) współpracy z Katedrą Geodezji i Ochrony Środowiska poprzez realizację projektów badawczych współfinansowanych z funduszy własnych obu uczelni (UAM, UP) dotyczący archiwalnych materiałów kartograficznych i obszaru Wielkopolskiego Parku Narodowego,

W najwcześniejszym okresie współpracy, w latach 2003-2005, współpracowałem z Katedrą Geodezji i Ochrony Środowiska (dr Maria Jankowska, dr Elżbieta Wyczałek). Współpraca dotyczyła zrealizowania dwóch projektów finansowanych ze środków pochodzących z funduszy własnych obu uczelni (UP i UAM). W ramach współpracy zrealizowano dwa projekty: *Wykorzystanie źródeł informacji przestrzennej w badaniach zmian środowiska przyrodniczego WPN i jego otuliny* (Wykaz osiągnięć ... p.II.15.A.1) oraz *Baza Danych Przestrzennych (BDP) WPN oraz wykorzystanie jej zasobów w badaniach zmian krajobrazu i prowadzeniu zajęć dydaktycznych* (Wykaz osiągnięć ... p.II.15.A.2). W realizacji tych projektów uczestniczyła również Stacja Ekologiczna UAM w Jeziorach (użytkująca i udostępniająca dane przestrzenne, stanowiące wyniki tych projektów). W wyniku realizacji podjętych badań nad historycznymi materiałami kartograficznymi i teledetekcyjnymi (zdjęcia lotnicze z zasobu państwowego i wojskowego) powstała ujednolicona do wspólnego układu współrzędnych baza danych przestrzennych dla obszaru Parku wraz ze skowidzami zasięgu arkuszy i zasięgiem zdjęć lotniczych. Badania nad pojemnością informacyjną historycznych materiałów kartograficznych i nad ich dokładnością geometryczną były prezentowane na konferencjach naukowych dotyczących obszaru Parku oraz w okolicznościowych monografiach.

2) pełnienia funkcji promotora pomocniczego doktoratu zrealizowanego na Wydziale Inżynierii Środowiska i Gospodarki Przestrzennej UP

Współpraca w roli promotora pomocniczego dotyczyła doktoratu pana Krzysztofa Achtemberga, pt. *Wpływ parametrów morfologicznych i sposobów użytkowania gruntów w zlewniach na zarastanie jezior*, którego promotorem była pani profesor UP, dr hab. inż. Agnieszka Ławniczak-Malińska. Współpraca związana z przygotowaniem tej rozprawy doktorskiej trwała od 2014 do 2019 roku (obrona rozprawy nastąpiła w styczniu 2019). Współpraca obejmowała konsultacje w zakresie przygotowania danych przestrzennych z okresu 80 lat do analizy porównawczej (mapy topograficzne, cyfrowe modele powierzchni terenu, obrazowe dane teledetekcyjne - satelitarne i lotnicze) oraz uczestnictwo w dyskusji wyników, w tym na podstawie tekstu rozprawy, uzyskanych w ramach realizacji tej pracy. W tym okresie uczestniczyłem również w kilku seminariach zakładowych, poświęconych rozprawie doktorskiej.

3) współpracę z Katedrą Chemii Rolnej i Biogeochemii Środowiska przy składaniu wniosków badawczo-rozwojowych do Narodowego Centrum Badań i Rozwoju, a w końcu realizację przyznaných projektów.

Od 2013 roku uczestniczę we współpracy z Katedrą Chemii Rolnej i Biogeochemii Środowiska. Problematyka badawcza, która stała się płaszczyzną tej współpracy to zastosowanie metod teledetekcyjnych (spektrometrii i wielospektralnych danych obrazowych pozyskiwanych z różnych pułapów) w szacowaniu cech gleb i uprawianych roślin w trakcie sezonu wegetacyjnego i ich zastosowaniu w optymalizacji produkcji rolniczej. Aby zrealizować pomysły omawiane w trakcie wspólnych seminariów starano się pozyskać środki finansowe NCN, NCBiR czy instytucji europejskich. W procedurze przygotowania wniosków odpowiadałem za problematykę dotyczącą zobrazowań satelitarnych (gromadzenie, korekcja danych obrazowych, klasyfikacja, dane do modelowania). Wnioski grantowe składano kilkakrotnie, czasami tworząc konsorcja z innymi jednostkami naukowymi lub podmiotami biznesowymi. Finansowanie uzyskano dwukrotnie w NCBiR (jeden projekt został przerwany cztery miesiące po rozpoczęciu), drugi projekt przeznaczony do realizacji (Wykaz osiągnięć ... p.II.9.A.9). rozpocznie się w październiku 2021 (Wykaz osiągnięć ... p.II.9.B.1)

Współpraca ze środowiskiem naukowym archeologów obejmowała trzy instytucje:

1) Muzeum Archeologiczne w Poznaniu,

Dla Muzeum Archeologicznego w Poznaniu pod koniec lat 90. XX wieku wykonałem georeferencję i rektyfikację map topograficznych w układzie 65 w ramach 4 i 3 trefy dla obszaru aktywności tej instytucji w ramach systemu MAZEPA (Konserwator ds. Zabytków Archeologicznych, dr Andrzej Prinke), wykorzystywanego do archiwizacji danych pozyskanych w wyniku realizacji programu Archeologiczne Zdjęcie Polski (AZP) oraz inwestycji infrastrukturalnych. Pozwoliło to zintegrować dane gromadzone w różnych układach współrzędnych (co wynikało z utajnienia parametrów odwzorowań układów geodezyjnych).

2) Wydział Archeologii UAM

Od 1997 współpracuję z profesorem Włodzimierzem Rączkowskim z Wydziału Archeologii (WA) UAM. Podstawą współpracy są wspólne zainteresowania związane ze zdjęciami lotniczymi i historycznymi materiałami kartograficznymi. Współpraca miała charakter zarówno formalny jak i nie formalny. Wielokrotnie uczestniczyłem również w seminariach dla doktorantów prof. Rączkowskiego w celach konsultacji różnych zagadnień związanych z fotogrametrią czy teledetekcją. Niektórzy doktoranci profesora Rączkowskiego uczestniczyli w zajęciach z fotogrametrii prowadzonych przez mnie na WNGiG. Współpraca obejmowała również indywidualne lub wspólne wystąpienia na konferencjach archeologicznych (Wykaz osiągnięć ... p. II.7.7, p. II.7.20, p.II.7.29, p.II.7.47, p.II.7.49) oraz współpracę w ramach projektów polskich i europejskich.

W 2001 wspólnie przygotowano wniosek badawczy do niemieckiego Centrum Obserwacji Ziemi (DLR - Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt) dotyczący zastosowania zobrazowań hiperspektralnych w badaniach archeologicznych do wskazywania ukrytych pod powierzchnią ziemi artefaktów uwidaczniających się poprzez wyróżniki roślinne (strona niemiecka oferowała zobrazowania z sensory DAIS7915 i ROSIS, nie uzyskano jednak finansowania).

Ważnym elementem współpracy była wykonana przez mnie digitalizacja niemieckich fotomap w skali 1:25000 dostępnych w polskich archiwach (w tym Archiwum Kartograficznym WNGiG) i udostępnienie tych fotomap, w pierwszej kolejności do wykorzystania w pracach magisterskich realizowanych na obu wydziałach, w późniejszym czasie również wszystkim zainteresowanym poprzez ogólnie dostępne serwisy archiwalnych materiałów kartograficznych (np. Archiwum Map Polski Zachodniej, Archiwum Map Wojskowego Instytutu Geograficznego). Na podstawie kwerendy prof. Rączkowskiego w brytyjskich archiwach, w oparciu o przygotowaną przez niego bazę danych, wykonałem przestrzenny katalog fotomap dostępnych dla obszaru Polski (projekt: *European Landscapes: Past, Present and Future* w latach 2004–2007, Culture 2000 – 2004-1495/001-001 CLT CA22).

W roku 2015 jako konsultant brałem udział w projekcie finansowanym ze środków Europejskiej Agencji Kosmicznej *ArchEO – archaeological application of Earth Observation techniques*, którego liderem była firma Wasat Sp. z o.o. Analizowano, w ramach prowadzonych w projekcie badań, możliwości rozpoznawania/obecności wyróżników roślinnych wskazujących na obecność obiektów archeologicznych, na wysokorozdzielczych obrazach satelitarnych, badając skuteczność różnych metod pansharpeningu (powiązanie wysokorozdzielczego kanału panchromatycznego i kanałów spektralnych o niższej rozdzielczości przestrzennej w jednej kompozycji). Efektem tych prac była prezentacja posteru na konferencji między narodowej w międzynarodowej we Frascati (Wykaz osiągnięć ... p. II.7.33).

Problemem podjętym wspólnie z panią dr Lidią Żuk było zagadnienie dokładności historycznych materiałów kartograficznych w kontekście badań archeologicznych, w szczególności dotyczyło to map topograficznych w skali 1:25000 publikowanych w latach 60. XX wieku, tzw. „powiatówek”, pozbawionych siatki kartograficznej i kilometrowej. (europejski projekt *ArchaeoLandscaps Europe* – 2010-1486/001-001). W literaturze naukowej i branżowej wskazywano wielokrotnie na wady geometryczne tych map, celowe ich deformacje i ich nieprzydatność w analizach porównawczych z nowszymi mapami. Na podstawie dostępnych w Wydziałowym Archiwum Kartograficznym oryginalnych map wojskowych (w tym wersji dla wojsk rosyjskich), tworzonych w latach pięćdziesiątych i map powiatowych, wykonano analizę porównawczą pomiędzy oryginałem mapy wojskowej a jej cywilną wersją w zakresie treści i geometrii map dla obszaru powiatu Międzyrzeckiego (obejmującego obszar poligonu wojskowego). Stwierdzono zasadniczą zgodność geometryczną treści obecnej na mapach wojskowych i cywilnych (np. sieć drogowa, rzeźba terenu, sieć hydrograficzna), nie znajdując żadnych umyślnych sposobów deformacji na mapach cywilnych. Zatem w systemach informacji przestrzennej można definiować referencję map topograficznych tzw. „powiatówek” jako układ 1942 z podziałem na strefy trójstopniowe poprzez punkty wiążące z płaszczyzną referencyjną (np. z mapą posiadającą siatkę kartograficzną lub topograficzną). Wyniki tych prac były prezentowane na konferencji międzynarodowej (Wykaz osiągnięć ... p.II.7.29) i opublikowane w anglojęzycznej monografii (Wykaz osiągnięć ... p.II.2.B.33).

Od 2019 roku uczestniczę w projekcie *RESEARCH: REmote SEnsing techniques for ARCHaeology* (finansowanym ze środków UE w ramach perspektywy Horyzont 2020 – program RISE; Wykaz osiągnięć ... p.II.14.1). Ze strony polskiej uczestniczą pracownicy i doktoranci WA i WNGiG, natomiast kierownikiem jest profesor Włodzimierz

Rączkowski. Projekt dotyczy wykorzystania metod teledetekcyjnych w szybkiej ocenie rozmaitych zagrożeń naturalnych (np. erozja) czy kulturowych (np. ekspansja zabudowy) dla dziedzictwa archeologicznego. Służyć temu ma specjalistyczna platforma wykorzystująca dane teledetekcyjne pozyskiwane w 'czasie rzeczywistym' (np. zobrazowania satelitarne programu Sentinel). Celem projektu jest również podniesienie własnych kompetencji uczestników poprzez wzajemną wymianę doświadczeń, poprzez staże naukowe w zagranicznych jednostkach badawczych w kooperacji z firmami zajmującymi się przetwarzaniem danych przestrzennych, w tym danych teledetekcyjnych. Do tej pory odbyłem jeden miesięczny staż na Uniwersytecie w Viterbo dotyczący zagadnień modelowania erozji, co stanowiło istotne rozszerzenie i podniesienie moich kompetencji stosunku do moich dotychczasowych zainteresowań naukowych. W ramach projektu uczestniczyłem również w tygodniowych szkołach letnich. Pierwsza szkoła letnia przeprowadzona przez Cyprys University of Technology, obejmowała szkolenia i wykłady dotyczące wiedzy współczesnych metod teledetekcyjnych stosowanych w badaniach i monitoringu środowiska przyrodniczego. Z mojego punktu widzenia szczególnie istotne były zagadnienia dotyczące przetwarzania obrazów radarowych (z których przetwarzaniem miałem najmniej doświadczeń). W przypadku drugiej szkoły letniej w Rethymno na Krecie uczestnictwo miało charakter aktywny poprzez prezentację referatu, którego byłem pierwszym autorem, dotyczący danych przestrzennych wykorzystywanych do modelowania erozji a dostępnych w bazach danych przestrzennych w Polsce (Wykaz osiągnięć ... p.II.7.47).

3) Muzeum Pierwszych Piastów na Lednicy

W latach 2019-2021 uczestniczyłem wspólnie z dr Lidią Żuk w projekcie finansowanym ze środków Ministerstwa Kultury a realizowanym przez Muzeum Pierwszych Piastów na Lednicy - *Antropopresja a dziedzictwo archeologiczne. Przykład Lednickiego Parku Krajobrazowego* (Wykaz osiągnięć ... p.II.15.5). W ramach projektu podjęto zagadnienia analizy i interpretacji zobrazowań satelitarnych Sentinel-1 i Sentinel-2 w aspekcie ich wykorzystania w planowaniu badań archeologicznych, możliwości monitorowania zmian zabudowy, analizy sezonowej zmienności pokrycia terenu. Na podstawie uzyskanych wyników przygotowano wspólnie z dr Lidią Żuk ponad 50 stronicowy raport. Uzyskane wyniki częściowo zaprezentowano w postaci referatu na konferencji międzynarodowej (Wykaz osiągnięć ... p.II.7.48). W najbliższej przyszłości planowane jest opublikowanie pracy w czasopiśmie Open Geoscience zawierającej szersze omówienie uzyskane rezultaty.

6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę.

Prowadzenie zajęć dydaktycznych w latach 2003–2021 (dla 18 lat posiadam dokumentację) wiązało się z wykonaniem 8142 godzin dydaktycznych, co średnio daje 452 godziny na rok akademicki przy pensum 210 godzin dla adiunkta i 330 dla starszego wykładowcy (w kolejnych latach przeprowadziłem: 2003/2004 – 356 godz., 2004/2005 – 428 godz., 2005/2006 – 524 godz., 2006/2007 – 604 godz., 2007/2008 – 329 godz., 2008/2009 – 436 godz., 2009/2010 – 420 godz., 2010/2011 – 328 godz., 2011/2012 – 375 godz., 2012/2013 – 490 godz., 2013/2014 – 310 godz., 2014/2015 – 630 godz., 2015/2016 – 490 godz., 2016/2017 – 500 godz., 2017/2018 – 500 godz., 2018/2019 – 470 godz., 2019/2020 – 522 godz., 2020/2021 – 430 godz.).

Realizowane zajęcia to przygotowanie i prowadzenie **9 wykładów** (Fotogrametria lotnicza i satelitarna – 15 godz., Fotogrametria cyfrowa – 15 godz., Systemy Informacji geograficznej – 30 godz., Monitoring lotniczy i satelitarny – 15 godz., Klasyfikacja obrazów wielospektralnych i ich georeferencja – 15 godz., Grafika w Internecie – 15 godz., Ziemia z kosmosu – 15 godz., Geoinformacja – 15 godz., Teledetekcja – 10 godz.), **9 przedmiotów ćwiczeniowych realizowanych w laboratoriach komputerowych** (Teledetekcja środowiska przyrodniczego – 30 godz., Cyfrowe przetwarzanie obrazów – 30/45 godz. zależnie od kierunku i zmian w programach, Fotogrametria cyfrowa – 15/30 godz., Grafika w Internecie – 15 godz., Teledetekcja satelitarnej – 15 godzin, Ocena sensorów i produktów teledetekcyjnych – 15 godz., Monitoring lotniczy i satelitarny – 15 godz., Detekcja w ochronie środowiska – 30 godz., Klasyfikacja obrazów wielospektralnych i ich georeferencja – 15 godz.), **3 przedmioty prowadzone w formie ćwiczeń terenowych z** (ćwiczenia terenowe z gleboznawstwa od 2 do 6 dni – zależnie od programu studiów, Przewodnictwo po ośrodkach i obiektach turystycznych – 6 dni, ćwiczenia terenowe z kartografii i teledetekcji – od 2 do 3 dni), **4 przedmioty jako ćwiczenia w zwykłych salach** (Teledetekcja środowiska dla geologów – 10/15 godz., Regiony geograficzne i metody regionalizacji – 10 godz., Źródła informacji i metody badań geograficznych – godz. 10; Gleboznawstwo – 10 godz.) oraz **seminaria i pracownie magisterskie, inżynierskie i licencjackie** (w wymiarze 30/45 godzin). Dwukrotnie prowadziłem też zajęcia ze studentami w ramach programu ERASMUS w języku angielskim. Byłem także promotorem 3 prac magisterskich, 3 licencjackich i 8 inżynierskich prac dyplomowych, a ponadto recenzowałem 2 prace magisterskie, 7 inżynierskich i 5 prac licencjackich. Współuczestniczyłem również w tworzeniu programów studiów dla specjalności Geoinformacja w ramach kierunku Geografia, a następnie dla kierunku Geoinformacja i Geoinformacja inżynierska.

W roku 2011 uczestniczyłem w ogólnouczelnianym projekcie „Unikatowy Absolwent = Możliwości. Wzrost potencjału dydaktycznego Uniwersytetu im. A. Mickiewicza poprzez proinnowacyjne kształcenie w języku angielskim, interdyscyplinarność”, w ramach którego zorganizowano kurs dotyczący prowadzenia zajęć w formie elearningowej. Od tego czasu niemal wszystkie zajęcia prowadzę z wykorzystaniem i wsparciem platformy elearningowej – początkowo przez administrowany przeze mnie system informatyczny, a od 2015 roku poprzez ogólnouczelnianą platformę (elearning.amu.edu.pl), opierając się na oprogramowaniu Moodle. W ostatnich dwóch latach, ze względu na okoliczności pandemii COVID-19, zajęcia prowadziłem zdalnie z wykorzystaniem platformy MS Teams. Zastosowanie uczelnianego systemu elearningowego czy oprogramowania wraz z zasobami MS Teams umożliwia studentom zdalny i ciągły dostęp do materiałów dydaktycznych, szybką komunikację z prowadzącym i odwrotnie, definiowanie jasnych kryteriów oceniania, dostęp studentów do materiałów przez cały okres trwania studiów oraz wymaganą prawnie archiwizację całego procesu dydaktycznego (prace projektowe, sprawdziany, kolokwia). W latach 2019–2021 uczestniczyłem jako ekspert w projekcie „Zmienność środowiska przyrodniczego na mapach cyfrowych i danych terenowych MOOCne kursy elearningowe Stacji Ekologicznej w Jeziorach” recenzując kursy elearningowe powstałe w ramach realizacji tego projektu w zakresie metodycznym, merytorycznym i technicznym.

W 2017 roku uczestniczyłem w tygodniowym szkoleniu dotyczącym obsługi i używania bezzałogowych statków powietrznych zorganizowanym w ramach programu „Zintegrowane centrum podnoszenia kompetencji”

realizowanego w celu podnoszenia kompetencji dydaktycznych kadry Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu” nr POWR.03.04.00-00-D107/16. Szkolenie zakończyło się egzaminem państwowym, dzięki czemu uzyskałem uprawnienia do pilotowania tego typu statków powietrznych w warunkach widoczności, jak i jej braku dla statków o masie całkowitej startowej do 25 kg. Dzięki temu w ramach zajęć z teledetekcji, fotogrametrii czy prowadzenia prac inżynierskich mogłem prezentować możliwości wykorzystania tego typu sprzętu i danych. Umiejętności pozyskiwania danych z BSP wykorzystywałem w ramach badań naukowych.

W ramach działalności organizacyjnej dotyczącej dydaktyki dwukrotnie byłem opiekunem na studiach zaocznych: 1) na kierunku geografia jako pięcioletnie studia magisterskie w latach 2002–2006, co wiązało się również z organizacją i układaniem planu zajęć, 2) inżynierskich kierunek geodezja i kartografia 2014–2017, co wiązało się również z organizacją i układaniem planu zajęć dla studentów w latach 2014–2016. W latach 1995–1996 byłem członkiem zespołu układającego plan na WNGiG. Ponadto w latach 2002–2003 byłem sekretarzem Wydziałowej Komisji Rekrutacyjnej dla kierunku Turystyka i rekreacja (proces rekrutacyjny obejmował około 1500 osób).

W ramach pracy dydaktycznej aktywnie także uczestniczyłem w różnych formach popularyzacji nauki i wiedzy poprzez takie wydarzenia, jak: Światowy Dzień Systemów Informacji Geograficznej (tzw. GISday, w latach 2003–2011), Festiwal Nauki (w latach 2014–2020), Noc Naukowców (w latach 2015–2021) czy bezpośrednio prowadząc zajęcia dla uczniów szkół podstawowych (gimnazjalnych) czy licealistów odwiedzających WNGiG, poprzez prezentowanie wykładów, organizację warsztatów czy nagrywanie filmów udostępnianych poprzez media społecznościowe dla dzieci, młodzieży szkolnej czy studentów. W latach 2003–2020 uczestniczyłem w przygotowaniu i przeprowadzeniu w 24 wydarzeniach popularyzujących naukę i wiedzę. Jako przykłady takich wydarzeń mogę podać: 1) GISDAY 2011 – warsztaty w pracowni komputerowej poświęcone teledetekcji miejskiej „Teledetekcja w mieście – charakterystyka spektralna różnych pokryć dachów, czyli zmiana fachu skrzypka na dachu ...”, 2) Noc Naukowców: Laboratorium gleboznawczo-spektralne, WNGiG UAM, 25.09.2015, 3) XII Konferencja Geograficzna w III Liceum Ogólnokształcącym w Kaliszu z wykładem „Jak wykorzystać smartfona do modelowania 3D”, 4) współudział przy tworzeniu filmów popularno-naukowych w ramach Festiwalu Nauki 2020: „Jak ze zdjęć zrobić model 3D” i „Dlaczego drony latają?”. Kilukrotnie prowadziłem warsztaty z podstaw teledetekcji, np. kilkudniowe kursu z podstaw teledetekcji i przetwarzania obrazu w ramach letnich szkół Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w latach 90. (w stacji monitoringu w Storkowie, w Wigierskim Parku Narodowym oraz Kampinoskim Parku Narodowym) czy w ramach Światowego Dnia Systemów Informacji Geograficznej. W ramach XXIV Ogólnopolskiej Konferencji Fotointerpretacji i Teledetekcji przygotowałem i przeprowadziłem warsztaty z podstaw przetwarzania obrazów satelitarnych Sentinel 2 w oparciu o oprogramowanie SNAP (tworzonego przez Europejską Agencję Kosmiczną)

W latach 2008–2011 uczestniczyłem w tworzeniu Wydziałowego Archiwum Kartograficznego w zakresie zgromadzenia niezbędnego wyposażenia do digitalizacji jego zasobów i ich przygotowaniu do udostępniania studentom i pracownikom Wydziału oraz przeszkoleniu pracowników. W kolejnych latach uczestniczyłem w administrowaniu sprzętem komputerowym i archiwizacji digitalizowanych zasobów. Za prace przy tworzeniu Archiwum otrzymałem dwukrotnie nagrody Kolegium Dziekańskiego WNGiG w 2009 i 2010 roku.

W latach 2008–2020 byłem członkiem Rady ds. Informatyzacji przy Dziekanie WNGiG. Praca w tej Radzie, poza zebraniem samego gremium, obejmowała konsultacje z pracownikami Wydziałowej Pracowni Komputerowej z w zakresie istniejących i planowanych rozwiązań technicznych związanych z dydaktyką w pracowniach komputerowych, dokonywałem również zakupów oprogramowania do fotogrametrii.

W ramach działalności organizacyjnej w jednostce, w której jestem zatrudniony (Zakład Gleboznawstwa i Teledetekcji Gleb, po reorganizacji w roku 2019 zmieniono nazwę na Pracownia Teledetekcji Środowiskowej i Gleboznawstwa) zajmowałem się prowadzeniem anglojęzycznej strony internetowej, prezentującej informacje o problematyce badawczej i udostępniającej materiały dydaktyczne przygotowane przez pracowników jednostki. Zajmowałem się również podstawową obsługą informatyczną komputerów używanych w jednostce (instalacja

oprogramowania, konserwacja, instalacja dodatkowych komponentów sprzętowych, archiwizacja danych itp.). Na potrzeby badań realizowanych przez jednostkę zajmowałem się wykonywaniem pomiarów właściwości spektralnych (z wykorzystaniem radiometru hiperspektralnego), pomiarów albedo (albedometry, goniometr), kalibracji radiometrycznej albedometrów i pomiarów kształtu powierzchni glebowych techniką fotograficzną w powiązaniu z fotogrametrią oraz skanowaniem laserowym realizowanych w terenie lub laboratorium. W latach 2012–2014 zajmowałem się szkoleniem studentów pracujących na stanowisku technicznym w jednostce na potrzeby realizowanych wtedy badań. Czasochłonną działalnością organizacyjną jest też wypełnianie obowiązków administracyjnych, w tym takich, które dotyczą realizacji projektów badawczych czy dydaktycznych. W ramach tego rodzaju działalności można wymienić przygotowywanie zamówień publicznych do zakupów niezbędnego sprzętu, w tym takie czynności, jak gromadzenie niezbędnej dokumentacji technicznej, zbierania i negocjacji ofert przetargowych (w niektórych skomplikowanych przypadkach zajmuje to bardzo dużo czasu), realizowanie procedur administracyjnych dla napraw sprzętu badawczego itp. Szacunkowo brałem udział w prowadzeniu około 60 procedur przetargowych, w tym sprzęt o wartości jednostkowej ponad 100 000 PLN.

7. Oprócz kwestii wymienionych w pkt. 1-6, wnioskodawca może podać inne informacje, ważne z jego punktu widzenia, dotyczące jego kariery zawodowej.

W ramach działalności organizacyjnej obejmującej pozyskiwanie funduszy na badania naukowe uczestniczyłem w przygotowaniu wielu wniosków projektów badawczych, które nie zostały przeznaczone do finansowania. Podanie takich informacji wydaje się zasadne z punktu widzenia poświęconego czasu na przygotowanie takich wniosków, który może wydawać się stracony w aspekcie finalnego niepowodzenia, jednak jest źródłem zdobywania doświadczeń, zwłaszcza przy współpracy międzynarodowej.

Wśród tych projektów, które nie uzyskały pozytywnej kwalifikacji było 5 projektów międzynarodowych:

- 1) 6 Program Ramowy Komisji Europejskiej: Thematic Priority 6.3 „Global Change and Ecosystems”, proposal Nr 036839-1; DESEX; Call identifier “FP6-2005-GLOBAL-4” - Desertification: mechanisms, prevention and sustainability with an expert system. Koordynator projektu prof. Yosef Cohen (Ben Gurion University of the Negev, Israel), opracowanie programu części badań dotyczących pomiarów szorstkości, data złożenia, 2006.
- 2) BiodivERsA3-2015-41, nr rej. w ramach UNISONO: 2015/18/Z/ST10/00015, “The influence of arsenic contamination on plants and soil microbial diversity and the use of remote sensing techniques for the determination of changes in the biodiversity borders in contaminated areas”, data złożenia: 2015-12-16, kierownik dr inż. K. Lewińska;
- 3) European Space Agency AO8433. Proposal No: P/ESN2015/AOI1-8433/CHERA. Title: Service for CAUCASIAN HOGWEEDS detection based on Copernicus data – support to toxic plants ERADICATION, członek konsorcjum;
- 4) European Commission, Horyzont 2020, 2020-SMEINST-2-2016-2017, number wniosku: 756394- Airborne hyperspectral heavy metal mapping and monitoring - HMM”, kwota: 2 127 175 €. Członkowie konsorcjum: Uniwersytet Adama Mickiewicza w Poznaniu, Uniwersytet Marcina Lutra Halle-Wittenberg, DIMAP-Spectral GmbH, data złożenia: wrzesień 2016.
- 5) European Commission, Horyzont 2020, Call: H2020-EO-2017, Topic: EO-1-2017, Proposal number: 776349, Nitrogen Control Service for Earth Observation, acronym: NICOSeo. Kwota 1'577'985€. Członkowie konsorcjum NICOseo: Asseco Poland S.A. - Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu - Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu - Terranis SAS (Francja) - 482 Solutions (Ukraina) - Kapitech sp.z.o.o., data złożenia 1.03.2017, wykonawca ze strony UAM.

W ramach krajowych konkursów uczestniczyłem w przygotowaniu 19 wniosków (w tym 4 samodzielne i jeden inwestycyjny):

- 1) Wniosek badawczy MNiSW własny pt.: "Integracja archiwalnych informacji gleboznawczych i danych teledetekcyjnych dla potrzeb szczegółowej kartografii gleb", kierownik dr inż. C. Kaźmierowski, numer identyfikacyjny ID 36889, nr rejestracyjny N N306 101736 (2008), wykonawca

- 2) Wniosek badawczy MNiSW własny pt.: "Bazodanowy system tworzenia szczegółowych map glebowych integrujący zweryfikowane i uzupełnione archiwalne informacje gleboznawcze oraz dostępne dane teledetekcyjne", kierownik dr inż. C. Kaźmierowski, numer identyfikacyjny ID 57799, nr rejestracyjny N N306028737, nr konkursu 37, symbol komisji N306 (2009), wykonawca.
- 3) Wniosek badawczy MNiSW własny pt.: "Bazodanowy system tworzenia szczegółowych map glebowych na podstawie zintegrowanych nowych i archiwalnych informacji gleboznawczych oraz dostępnych danych teledetekcyjnych", kierownik dr inż. C. Kaźmierowski, numer identyfikacyjny ID 67339, nr rejestracyjny N N310035838,, nr konkursu 38, symbol komisji N310 (2009), wykonawca.
- 4) Wniosek badawczy MNiSW własny „System wspomagający opracowywanie szczegółowych map glebowych”. Nr projektu: N N306 599940 , ID 97939, nr konkursu 40, komisja N306 - Geografia i Oceanologia / geografia gleb (2010), wykonawca.
- 5) Narodowe Centrum Nauki, Analiza wpływu zjawiska dwukierunkowego odbicia spektralnego na rozkład naświetlenia w płaszczyźnie zdjęcia lotniczego i wynikające z tego zróżnicowanie jasności różnych rodzajów pokrycia terenu na zdjęciach wykonanych z różnych punktów; ID: 170130, Nr rej.: 2012/05/B/ST10/00374; OPUS 5 (2011-11-29); ST10, kierownik.
- 6) Narodowe Centrum Nauki, Analiza wpływu zjawiska dwukierunkowego odbicia spektralnego na rozkład naświetlenia w płaszczyźnie zdjęcia lotniczego i wynikające z tego zróżnicowanie jasności różnych rodzajów pokrycia terenu na zdjęciach wykonanych z różnych punktów; ID: 188013, Nr rej.: 2012/05/B/ST10/00374; OPUS 5 (2012-06-19); ST10, kierownik.
- 7) Narodowe Centrum Nauki, Analiza wpływu zjawiska dwukierunkowego odbicia spektralnego na rozkład naświetlenia w płaszczyźnie zdjęcia lotniczego i wynikające z tego zróżnicowanie jasności różnych rodzajów pokrycia terenu na zdjęciach wykonanych z różnych punktów”; ID: 198134, Nr rej.: 2012/07/B/ST10/04343; OPUS 7 (2012-12-15); ST10, kierownik.
- 8) Narodowe Centrum Nauki, Analiza wpływu zjawiska dwukierunkowego odbicia spektralnego na rozkład naświetlenia w płaszczyźnie zdjęcia lotniczego i wynikające z tego zróżnicowanie jasności różnych rodzajów pokrycia terenu na zdjęciach wykonanych z różnych punktów; ID: 217695, Nr rej.: 2013/09/B/ST10/00625; OPUS 9 (2013-06-17); ST10. kierownik.
- 9) Narodowe Centrum Nauki, Stanowisko do laboratoryjnych i polowych pomiarów odbicia spektralnego od powierzchni gleb w zakresie optycznym, wniosek Inwestycyjne (duża infrastruktura badawcza), ID: 230629, nr. Rej. 2013/09/B/ST10/00607.
- 10) Narodowe Centrum Nauki, tytuł: Zastosowanie zobrazowań hiperspektralnych uzyskiwanych z niskiego pułapu lotniczego do estymacji wybranych charakterystyk gleb uprawnych, ID: 220616, Nr. Rej.: 2013/09/B/ST10/00607, OPUS 5 (Czerwiec 2013), ST10, wykonawca.
- 11) Narodowe Centrum Nauki, tytuł: Zastosowanie zobrazowań hiperspektralnych uzyskiwanych z niskiego pułapu lotniczego do optymalizacji użytkowania gleb uprawnych, ID: 237658, Nr. Rej.: 2013/11/B/NZ9/00702; OPUS 6 (Grudzień 2013), NZ9, wykonawca.
- 12) Narodowe Centrum Nauki, tytuł: Wykorzystanie metod teledetekcyjnych do ilościowej oceny zasobności gleb w składniki pokarmowe i zanieczyszczenia metalami ciężkimi, ID: 239197, Nr. Rej.: 2013/11/D/ST10/03474, SONATA (Czerwiec 2013), ST10, wykonawca.
- 13) Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, tytuł: „Teledetekcyjna ocena stanu odżywienia roślin dla potrzeb optymalizacji nawożenia i prognozowania plonów zbóż, acr. SPECPLON”. ID Nr rej.: 247075, Program Badań Stosowanych, data złożenia: 2014-01-30. Kierownik prof. W. Grzebisz, KCHRiBŚ UP w Poznaniu, planowane koszty 2'209'500 zł., wykonawca.
- 14) Narodowe Centrum Nauki, SONATA, nr rej. 2014/13/D/ST10/01781, „Wykorzystanie metod teledetekcyjnych do ilościowej oceny zasobności gleb w składniki pokarmowe oraz zanieczyszczenia metalami ciężkimi”, data złożenia: 2014-06-04, kierownik dr inż. K. Lewińska; wykonawca.
- 15) Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, Biostrateg I, nr rej: 267586, „Zarządzanie azotem w okresie wegetacji roślin uprawnych za pomocą technik teledetekcyjnych”, data złożenia 13.10.2014, kierownik: prof. dr hab. inż. Witold Grzebisz, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, członek konsorcjum, wykonawca.

- 16) Narodowe Centrum Nauki, SONATA, nr rej. 2014/15/D/ST10/00848, „Zastosowanie metod teledetekcyjnych do ilościowej oceny zasobności gleb w składniki pokarmowe i zanieczyszczenia metalami ciężkimi”, data złożenia: 2014-12-02, kierownik dr inż. K. Lewińska; wykonawca.
- 17) Narodowe Centrum Nauki, SONATA, nr rej. 2015/17/D/ST10/01852, „Zastosowanie metod teledetekcyjnych do ilościowej oceny zasobności gleb w składniki pokarmowe i stanu zanieczyszczenia gleb metalami ciężkimi, data złożenia: 2015-06-03, kierownik dr inż. K. Lewińska; wykonawca.
- 18) Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, Biostrateg II, nr rej: 298756, „Precyzyjne zarządzanie azotem w łanie wybranych roślin uprawnych za pomocą obrazowych danych satelitarnych”, data złożenia: 2015-07-24, kierownik: prof. dr hab. inż. Witold Grzebisz, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, członek konsorcjum CRONSARS;
- 19) Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, nr NCBIR POIR.04.01.02-00-0158/16298756: „Zrównoważone zarządzanie produktywnością upraw rolniczych z wykorzystaniem zobrazowań satelitarnych, w oparciu o spersonalizowane usługi GIS udostępniane w dedykowanym portalu” (acronim: MACROPSIM, data złożenia: lipiec 2016. Kierownik prof. W. Grzebisz, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, członek konsorcjum MACROPSIM (UP-UAM-Asseco Poland).

w

.....
(podpis wnioskodawcy- skan
podpisu z wniosku przewodniego)