

Kalibracja radiometryczna zobrażeń pozyskanych kamerą Parrot Sequoia

Udoskonalić obserwacje

Obiekty terenowe odbijają padające na nie promieniowanie zgodnie z indywidualnymi właściwościami spektralnymi. Analiza radiometryczna może być zatem wykorzystywana do ich identyfikacji.

Emilia Wasilewska

Aby jednak wydobyć informacje ilościowe zarejestrowane na obrazie, trzeba przeprowadzić kalibrację radiometryczną, która połączy pozyskane wartości piksela ze współczynnikiem odbicia (reflektancją), czyli stosunkiem strumienia promieniowania elektromagnetycznego odbitego od powierzchni do strumienia padającego na tę powierzchnię w danej długości fali i dla danego kąta padania.

Postęp technologiczny powoduje, że do rejestracji obrazów coraz powszechniej wykorzystywane są bezałogowe statki powietrzne (BSP). Do zalet dronów należą niewątpliwie: niski pułap lotu zapewniający zobrażenia pozbawione chmur, krótki czas pozyskiwania danych, prosta obsługa i stosunkowo niskie koszty użytkowania. Technologia bezałogowa wypełnia w pewien sposób lukę między pomiarami *in situ* a tymi z pułapu lotniczego i satelitarnego.

• Co analizowano?

Celem badań – realizowanych przez autorkę artykułu w ramach pracy ma-

gisterskiej obronionej na Wydziale Inżynierii Lądowej i Geodezji Wojskowej Akademii Technicznej – było:

- przeanalizowanie wpływu wielkości i położenia obszaru wskazanego jako wzorzec spektralny na dokładność korekcji radiometrycznej przeprowadzonych z jego wykorzystaniem,
- określenie dokładności map reflektancji otrzymanych w wyniku zastosowania różnych metod korekcji radiometrycznej oraz wybór najlepszej metody,
- określenie przydatności wzorców (wykonanych z materiału mającego nie-lambertowski model odbicia) w procesie korekcji radiometrycznej,
- określenie przydatności zobrażeń pozyskanych kamerą Parrot Sequoia do monitorowania roślinności.

Zobrazowania pozyskano z pokładu płatowca Parrot Disco (o rozpiętości skrzydeł 1150 mm i wadze 750 g) dla niedużego obszaru pokrytego niską roślinnością trawiastą. Naloty wykonano 17 października i 6 listopada 2018 r. (na fot. powyżej) – każdorazowo z pułapu 50 m i 100 m. Podczas pomiarów wyłożono 3 wzorce spektralne firmy Sphere-Optic (40 x 40 cm) o odbiciowości 50%, 20% i 5% oraz 6 wzorców nieprofesjonal-

nych – wielkoformatowe wydruki o wymiarach 70 x 70 cm.

Do wykonywania zobrażeń wykorzystano kamerę wielospektralną Parrot Sequoia. Posiada ona wbudowany odbiornik GPS, czujnik irradiancji oraz żyrokompas. Czujnik irradiancji skierowany jest „w górę” i rejestruje intensywność promieniowania wysyłanego przez Słońce. Ma to duże znaczenie przy eliminowaniu wpływu zmian oświetlenia na wartości pikseli. Zobrazowania pozyskiwane są przez 4 obiektywy, z których każdy rejestruje osobny zakres promieniowania (szczegóły w tabeli).

Zakres promieniowania rejestrowanego przez kamerę Parrot Sequoia

Kanał spektralny	λ_{\min} [nm]	λ_{\max} [nm]
Zielony	530	570
Czerwony	640	680
Red edge	730	740
Blika podczerwień	770	810



• Wybór wzorca

Przed przystąpieniem do kalibracji radiometrycznej zbadano, jaki wpływ na dokładność wyznaczenia współczynnika odbicia ma wielkość obszaru wskazanego jako referencyjny wzorec spektralny. W tym celu wykonano 4 różne kalibracje radiometryczne. Na rys. 1 przedstawiono wybrane konfiguracje wielkości i położenia obszaru odniesienia.

Badanie bazowało na kalibracji radiometrycznej wykonanej metodą KIPS (korekcja z wykorzystaniem metadanych kamery, czujnika irradiancji i położenia Słońca) z użyciem wzorca o odbiciowości 20%. Dokładność przetworzeń dla różnych wariantów określono na podstawie błędów obliczonych ze wzoru:

$$E [\%] = 100 \times (R_0 - R_r) / R_r,$$

gdzie R_0 – refleksyjność wzorca czytana z obrazu po korekcji, R_r – wartość referencyjna refleksyjności danego wzorca.

Najmniejsze błędy otrzymano dla obszaru o maksymalnie dużej powierzchni, największe zaś – dla obszaru umiejscowionego w narożniku. Powodem większych błędów w tym drugim wariantcie może być wpływ otoczenia na wartości pikseli reprezentujących wzorec spektralny (piksel zawiera odpowiedź spektralną uśrednioną z pewnej powierzchni). Oznacza to, że piksele leżące wzdłuż krawędzi wzorca mogą być „zanieczyszczone spektralnie” przez promieniowanie odbite od podłoża.

W kolejnych przetworzeniach oznaczano możliwie największą powierzchnię wzorca spektralnego, jednocześnie

zachowując pewien odstęp od krawędzi wzorca.

• Jaka korekcja najlepsza?

W zasadniczej części badań wykorzystano różne metody korekcji radiometrycznej, które pozwalają obliczyć współczynnik odbicia obiektów odwzorowanych na zobrazowaniach na podstawie ich wartości piksela. Metody te dzielą się na względne i bezwzględne. Korekcje przeprowadzono w programach ENVI oraz Pix4D, który jest sugerowany w przypadku zastosowania kamery Parrot Sequoia. Celem testów było wybranie takiej metody, która zapewni największą dokładność wyznaczenia współczynnika odbicia wszystkich obiektów na zdjęciu; jednocześnie dokładności te powinny być powtarzalne dla zdjęć z różnych pułapów i dat.

Zastosowane metody to:

- Quick Atmospheric Correction (QUAC) – bezwzględna, w aplikacji ENVI;
- Flat Field Correction (FF) – bezwzględna, ENVI;
- linii empirycznej (EL) – względna, ENVI;
- proporcji (MP) – względna, ENVI;
- proporcji z uwzględnieniem wpływu atmosfery (MPDOS) – względna, ENVI;

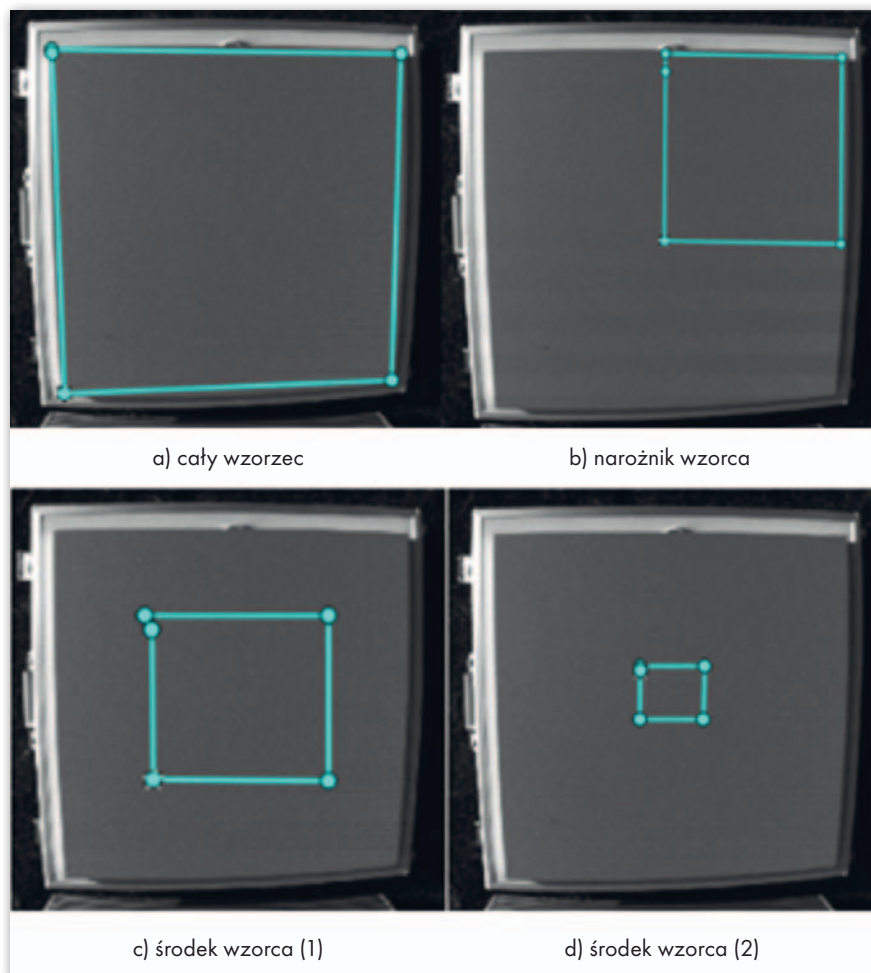
• wykorzystująca metadane kamery (TK) – względna, Pix4D;

• wykorzystująca metadane kamery i informacje rejestrowane przez czujnik irradiancji (KI) – względna, Pix4D;

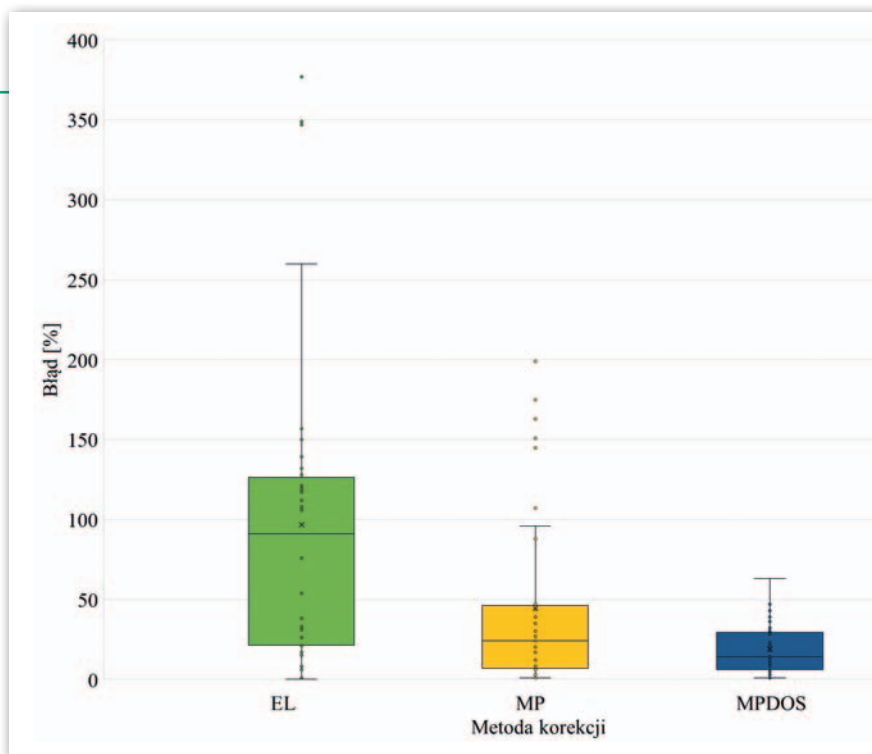
• wykorzystująca metadane kamery, informacje rejestrowane przez czujnik irradiancji oraz dane o położeniu Słońca względem czujnika irradiancji (KIPS) – względna, Pix4D.

Która z tych metod daje najlepsze wyniki? Trudno udzielić jednoznacznej odpowiedzi. Korekcja MPDOS zapewniła produkty wynikowe o dokładności 80% (tj. z błędem średnim 20%), co jest najlepszym rezultatem uzyskanym w badaniach. Ponadto czas obliczeń dla tej metody jest bardzo krótki. Wadą MPDOS jest konieczność uzyskania informacji na temat wartości pikseli należących do wzorca spektralnego oraz wartości pikseli obszaru maksymalnie zacienionego lub ciemnego, gdzie odbicie jest najmniejsze. Wydobycie tych informacji dla każdego kanału osobno jest utrudnieniem, którego nie da się zautomatyzować ani pominąć.

Z kolei zaletą korekcji radiometrycznych dostępnych w programie Pix4D jest ich minimalna interakcja z użytkownikiem. Z tymi metodami poradzą sobie



Rys. 1. Wielkość obszaru wskazanego jako wzorec spektralny podczas kalibracji



Rys. 2. Rozkład błędów dla trzech wybranych metod korekcji dla danych z października 2018 r. – pułap 100 m

zatem także osoby nieposiadające specjalistycznej wiedzy z zakresu teledetekcji. Zastosowanie korekcji wykorzystującej tylko informacje dotyczące kamery gwarantuje otrzymanie podobnej dokładności jak w metodzie MPDOS, czyli rzędu 80%. Można zatem stwierdzić, że w przypadku obrazowań pozyskanych z BSP kamerą Parrot Sequoia nie ma konieczności nabywania drogiego dedykowanego oprogramowania do korekcji. Równie dobrze sprawdzi się korekcja metodą proporcji, która w prosty sposób mo-

że zostać zaimplementowana zarówno w wielu programach, jaki i w dowolnym języku skryptowym.

Zaprezentowane w artykule wykresy pudełkowe (rys. 2, 3 i 4) obrazują rozkłady błędów wyznaczenia refleksyjności (obliczonych za pomocą podanego wcześniej wzoru) dla wybranych metod korekcji. Na wykresach tych znajdują się następujące elementy:

- kropki – błędy wyznaczenia refleksyjności obliczone dla poszczególnych wzorców spektralnych i zakresów promieniowania;

- krzyżyki – wartości średnie otrzymanych błędów wyznaczenia refleksyjności;
- pudełka (kolorowe prostokąty) – przedziały obejmujące 50% otrzymanych błędów („odrzucających” jest po 25% błędów o wartościach najniższych i najwyższych); pudełka służą lepszemu zobrazowaniu rozproszenia błędów;
- kreska dzieląca pudełkę – mediany błędów;
- „wąsy” – wartości maksymalne i minimalne błędów, dla których przeprowadzona została analiza dokładności; kropki znajdujące się poniżej lub powyżej uznane zostały za obserwacje odstające.

• Profesjonalne czy amatorskie?

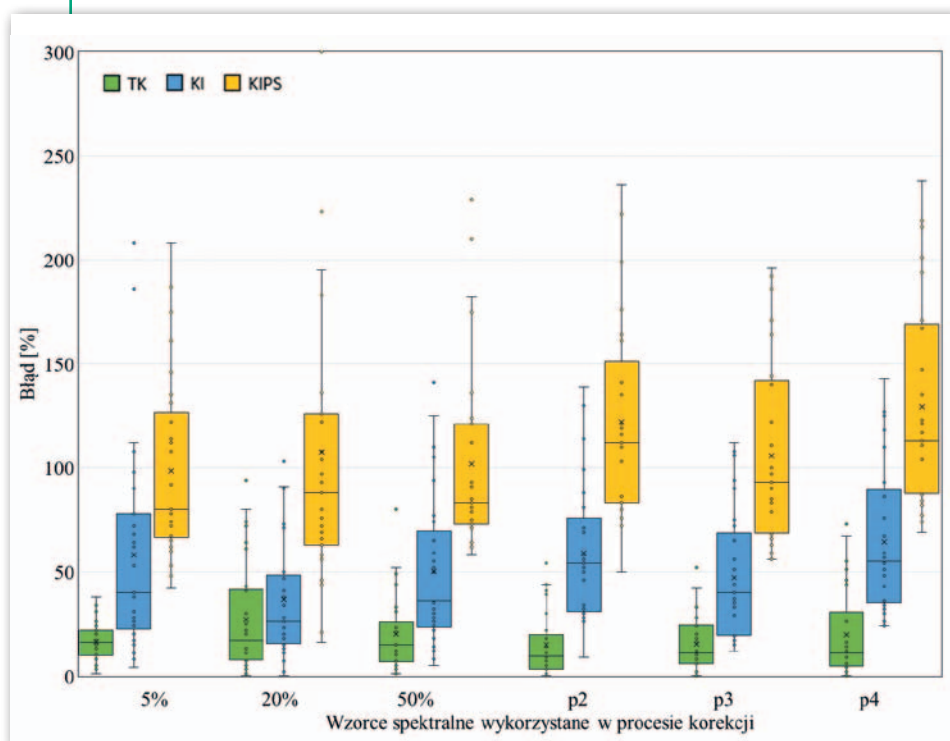
Podczas kampanii pomiarowej 17 października 2018 r. zarówno przed, jak i po nalocie pozyskano obrazowania trzech profesjonalnych wzorców SphereOptic o refleksyjności 50%, 20% i 5% (40 x 40 cm). 6 listopada 2018 r. sfotografowano także 6 wzorców spektralnych nieprofesjonalnych (p1, p2, p3, p4, p5, p6) – wielkoformatowych wydruków (70 x 70 cm).

Z przeprowadzonych badań wynika, że większy obszar odniesienia (wzorca spektralnego) daje lepsze wyniki korekcji. Zapewnia lepszą korektę wpływu oświetlenia oraz szumów wprowadzanych przez detektor. Wzorce spektralne używane podczas nalotów powinny być na tyle duże, aby reprezentowane były przez odpowiednią liczbę pikseli. Wykorzystane w pracy wzorce SphereOptic nie zapewniają zachowania „czystości spektralnej” pikseli znajdujących się na ich powierzchni zarówno w przypadku danych z pułapu 100 m, jak i 50 m. Większe wzorce w formie wielkoformatowego wydruku okazały się wystarczające dla pułapu 50 m, zapewniając dostateczną liczbę pikseli, które są pozbawione wpływu otoczenia, ale już nie dla 100 m.

Użycie wzorców nieprofesjonalnych na etapie kontroli jakości otrzymanych obrazowań po procesie korekcji radiometrycznej powoduje otrzymanie błędów średnio o 5% większych niż przy wzorcach SphereOptic. Produkty końcowe uzyskane z wykorzystaniem dwóch rodzajów wzorców nie odbiegają znacząco od siebie dokładnością. Wzorce wykonane w formie wielkoformatowego wydruku mogą być zatem dobrą alternatywą dla tych profesjonalnych. Ich zaletą jest niewątpliwie cena oraz większa powierzchnia, co znacząco wpływa na ich użyteczność w nalotach z wyższego pułapu.

• Badanie roślinności

Informację na temat kondycji roślinności uzyskuje się poprzez zastosowanie



Rys. 3. Rozkład błędów w zależności od metody korekcji i wykorzystanego wzorca dla danych z listopada 2018 r. – pułap 50 m

odpowiednio dobranych indeksów wegetacyjnych (do najczęściej używanych należy NDVI). Duży potencjał w tym zakresie mają zobrazowania pozyskane kamerą Parrot Sequoia ze względu na informację w kanale podczerwonym.

W celu przeanalizowania możliwości wykorzystania tych zobrazowań do obliczenia wskaźników wegetacyjnych posłużono się zobrazowaniami po korekcji radiometrycznej. Sięgnięto po obrazy zarówno z pułapu 50 m, jak i 100 m, dla których otrzymano najwyższe dokładności (MPDOS i z programu Pix4D). Aby sprawdzić, jak korekcja radiometryczna wpływa na wartość NDVI, wskaźnik obliczono także na podstawie zobrazowań bez korekcji.

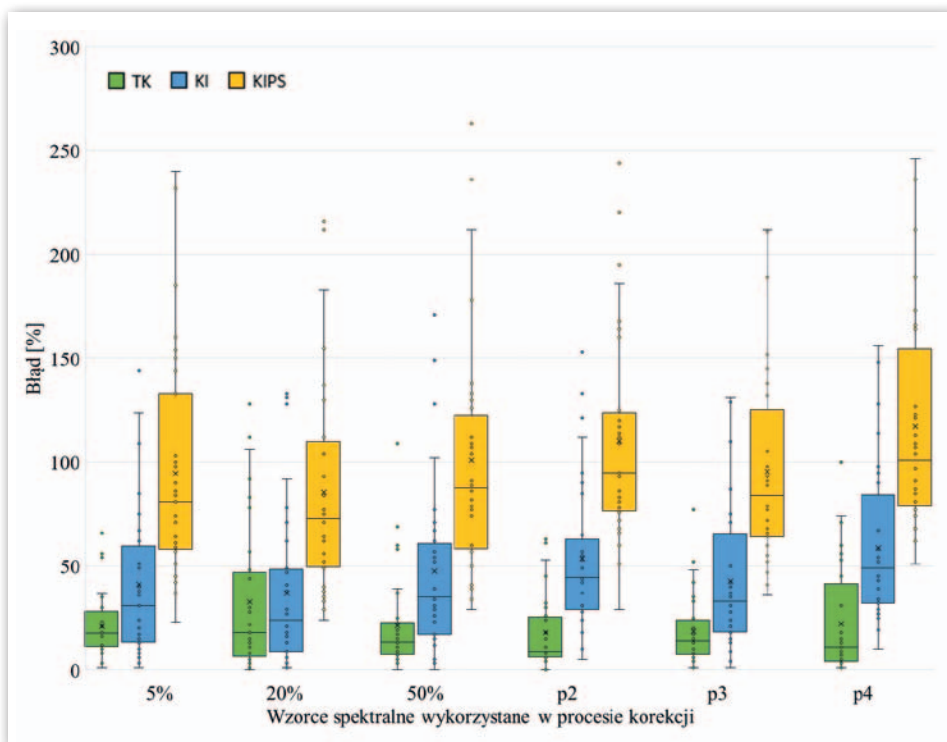
Wartość NDVI szczytano dla pięciu losowych punktów testowych (takich samych dla każdego zobrazowania). Dla zobrazowań bez korekcji otrzymano znacznie wyższe wartości wskaźnika. Zauważono również, że NDVI obliczony na podstawie zobrazowań z pułapu 100 m jest wyższy niż dla zobrazowań z pułapu 50 m. Zależność ta wystąpiła na większości zbadanych punktów. Wartość wskaźnika okazała się też różna dla różnych metod korekcji.

Zagwarantowanie powtarzalności pułapu oraz metody korekcji radiometrycznej dla zobrazowań pozyskanych w pewnych interwałach czasowych pozwala jednak na uzyskanie powtarzalnych wyników. Tym samym zobrazowania z kamery Parrot Sequoia mogą zostać wykorzystane do śledzenia zmian zachodzących w stanie roślinności (do oceny jakościowej). Ocena ilościowa (określenie wskaźnika wegetacji w danym momencie) jest niezalecana, ponieważ obciążona jest dużym błędem wynikającym z dokładności przetworzeń i daje różne wyniki dla różnych przyjętych parametrów.

• O tym trzeba pamiętać

Z przeprowadzonych badań wynika, że większy wzorzec zapewnia lepszą korektę wpływu oświetlenia oraz szumów wprowadzanych przez detektor, co przekłada się na wyższą dokładność wyznaczenia współczynnika odbicia. Ponadto stwierdzono, że profesjonalne wzorce mogą zostać zastąpione przez amatorskie w postaci wielkoformatowego wydruku. Zaobserwowano również, że niższy pułap lotu zapewnił otrzymanie dokładniejszych produktów końcowych.

Badania wykazały, że korekcja ma duży wpływ na wyniki analiz (takich jak wskaźniki wegetacyjne) przeprowadzanych na podstawie zobrazowań.



Rys. 4. Rozkład błędów w zależności od metody korekcji i wykorzystanego wzorca dla danych z listopada 2018 r. - pułap 100 m

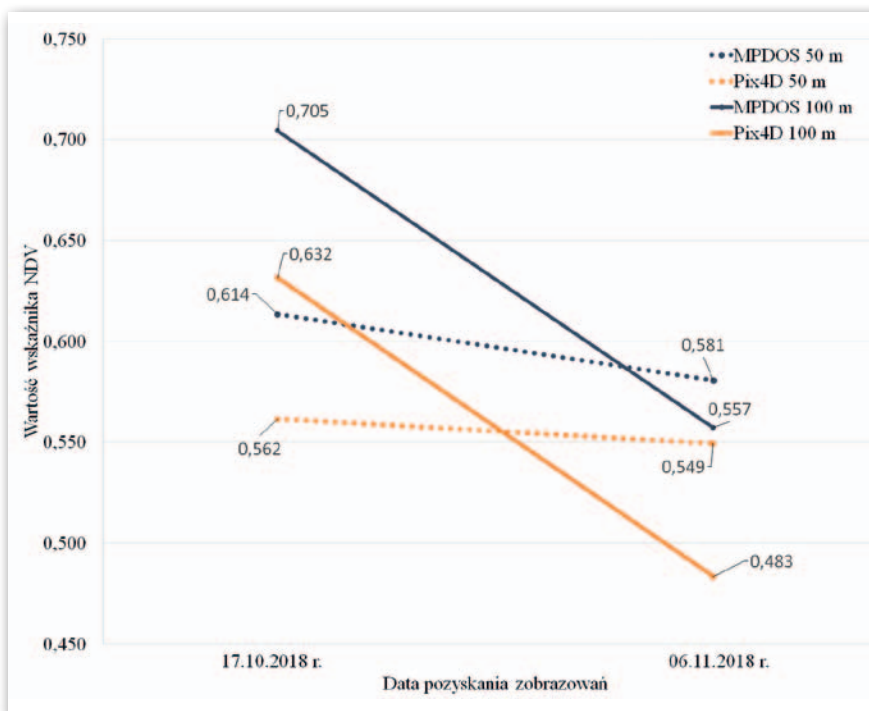
W przypadku wskaźnika NDVI zauważono jego zmienność wynikającą z różnych pułapów rejestracji zobrazowań oraz metod korekcji, jakim poddano surowe obrazy. Zastosowane metody korekcji pozwoliły na otrzymanie współczynnika odbicia o maksymalnej dokładności 80%.

Zobrazowania z kamery Parrot Sequoia mogą znaleźć zastosowanie w rolnictwie (m.in. precyzyjnym), leśnictwie (określenie zdrowotności

drzew) oraz ochronie środowiska (monitorowanie stanu i szczelności wałów powodziowych).

Emilia Wasilewska

Artykuł powstał na podstawie pracy magisterskiej napisanej pod kierunkiem dr. inż. Piotra Walczykowskiego na WLiG WAT. Praca ta zwyciężyła w edycji 2018/2019 Konkursu Prac Dyplomowych obronionych na kierunku GEODEZJA i kartografia (więcej w GEODECIE 3/2020)



Rys. 5. Zmiana wartości wskaźnika NDVI w czasie