

JAN KOTLARZ, KATARZYNA KUBIAK, MARIUSZ KACPRZAK, PAWEŁ CZAPSKI

Oszacowanie różnorodności gatunkowej drzewostanów z wykorzystaniem ich reflektancji*

Estimation of tree species diversity of forest stands based on their spectral reflectance

ABSTRACT

Kotlarz J., Kubiak K., Kacprzak M., Czapski P. 2016. Oszacowanie różnorodności gatunkowej drzewostanów z wykorzystaniem ich reflektancji. Sylwan 160 (12): 1036-1045.

Evaluation of the forest landscape diversity was investigated based on the multispectral aerial images using iterative Principal Component Analysis (PCA) methodology. In 2014, we carried out several photogrammetric flights over the experimental plots establish in the Krotoszyn Plateau (central Poland) documenting the vegetation cycle of forest stands dominated by oaks. Aerial photos of the spatial resolution about 25 cm of forest area in Karczma Borowa Forest District in the range of visible light (460-650 nm) and near infrared (700-930 nm) were collected by multi-spectral Quercus 6 platform placed on the aircraft. The aim of the study was to evaluate the diversity of forest vegetation cover using remote sensing data based on spectral signatures of plants without complete classification of fractional vegetation cover and species identification in the field. Recursive PCA on data collection from the multispectral images helped to determine with the semi-automatic mode the number of land cover classes, including the classes of vegetation. Based on the radiometric data, the separation of inorganic matter from vegetation and diversity indicators of forest stands on the image area were evaluated. With the PCA method, along the most volatile vectors, the first division into land cover classes of vegetation was conducted. As a result of the first iteration of PCA, three classes of vegetation: deciduous trees, conifers and forest undergrowth was determined. In the second iteration, classes of forest vegetation were separated and interpreted as the area dominated by a single species of tree or shrub. The second iteration divided the deciduous plant image area in plots dominated by English oak stands with an admixture of birch and red oak. Based on the number of pixels in classes representing individual plant species, Shannon-Wiener (H) and Simpson (D) diversity indices were determined. By described methodology, it was found that the differences between the H and D indices for the imagery area after the first and second PCA iteration were small. The relevance of performing successive iterations of PCA analysis, and thus the full identification of species, in the context of diversity calculation should be the subject of further study.

KEY WORDS

remote sensing, PCA, aerial environmental monitoring, *Quercus robur*, canopy

ADDRESSES

Jan Kotlarz ⁽¹⁾ – e-mail: jan.kotlarz@ilot.edu.pl
Katarzyna Kubiak ^(1, 2) – e-mail: k.kubiak@ibles.waw.pl

*Badania prowadzone w ramach projektu HESOFF LIFE 11 ENV/PL/459 współfinansowanego przez Komisję Europejską oraz Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej.

Mariusz Kacprzak ⁽¹⁾ – e-mail: mariusz.kacprzak@ilot.edu.pl

Paweł Czapski ⁽¹⁾ – e-mail: pawel.czapski@ilot.edu.pl

⁽¹⁾ Zakład Teledetekcji, Instytut Lotnictwa; al. Krakowska 110/114, 02-256 Warszawa

⁽²⁾ Zakład Ochrony Lasu, Instytut Badawczy Leśnictwa; Sękocin Stary ul. Braci Leśnej 3, 05-090 Raszyn

Wstęp

Znaczny rozwój techniki, zwiększenie czułości sensorów optycznych stosowanych w teledetekcji oraz coraz większa dostępność obrazów wielospektralnych zaowocowały podjęciem wielu prób detekcji i interpretacji obiektów zarejestrowanych na zdjęciach. Obecnie sceny satelitarne zarejestrowane w kilku, kilkudziesięciu lub nawet kilkuset wąskich zakresach spektralnych służą m.in. do klasyfikacji pokrycia terenu [Xu, Gong 2007], oceny jakości wód [Osińska-Skotak 2010] oraz badania gleb i materii organicznej [Iqbal, Ahmed 2014]. Dane z pomiarów pośrednich korelowane są z badaniami *in situ*, a następnie prowadzona jest interpretacja i ocena jakości uzyskanych wyników.

Współczesne systemy fotogrametryczne umożliwiają generowanie produktów o dokładności geometrycznej na poziomie pojedynczego piksela [Mularz, Drzewiecki 2008] lub nawet na poziomie subpikselowym [Cowan, Strait 2013]. Samo przesunięcie geometryczne poszczególnych pikseli różnych kanałów spektralnych wpływa na ilościowe wskaźniki statystyczne, takie jak wariancja i korelacja – która z kolei jest podstawową miarą wykorzystywaną w analizie czynnikowej PCA. W oparciu o nią, na podstawie przyjętych w procesie interpretacji reguł, mogą być tworzone klasy obiektów, do których zostanie przypisany każdy z pikseli obrazu źródłowego. Dla uproszczenia przyjmuje się, że pojedynczy piksel reprezentuje jeden typ pokrycia terenu. W rezultacie tworzony jest sklasyfikowany obraz wynikowy, który jest podstawą do prowadzenia analiz szczegółowych, np. obliczenie powierzchni zajmowanej przez poszczególne gatunki roślin może prowadzić do wyznaczenia ilościowych wskaźników oraz stworzenia kompletnego opisu bioróżnorodności ekosystemu.

Samo pojęcie różnorodności gatunkowej jest jednym z podstawowych pojęć odnoszących się do środowiska przyrodniczego. Do połowy lat 90. XX wieku istniało prawie sto jego różnych interpretacji [Sienkiewicz 2010]. Obecna definicja mówi o tym, że jest to bogactwo form życia występujących na Ziemi, różnorodność gatunków, genetyczna zmienność wewnątrzgatunkowa, a także różnorodność wielogatunkowych układów przyrodniczych, tj. ekosystemów i krajobrazów [Sienkiewicz 2010].

W niniejszej publikacji przedstawiono wypracowaną metodę przetwarzania zdjęć wielospektralnych do postaci użytecznej informacji o zarejestrowanym obszarze leśnym. Opisana metoda wykorzystująca analizę czynnikową zdjęć może zostać wykorzystana w opisie bioróżnorodności zarówno całych ekosystemów leśnych, jak i innych zbiorowisk roślinnych. W trakcie przeprowadzonego eksperymentu z jej wykorzystaniem wyodrębnione zostały klasy odpowiadające podziałowi podstawowemu na biomasę i materię nieorganiczną oraz podziałowi szczegółowemu biomasy na klasy odpowiadające poszczególnym taksonom i gatunkom drzew.

Materiał i metody

Zdjęcia kompleksu leśnego w Lesznie (Nadleśnictwo Karczma Borowa, RDLP Poznań) o rozmiarach 1200×804 pikseli pozyskano 11 czerwca 2014 roku z wysokości 800 m – podczas lotu fotogrametrycznego za pomocą platformy wielosensorowej Quercus 6 [Czapski i in. 2014] umieszczonej na pokładzie samolotu Cessna 182. Pojedyncze zdjęcia obrazowały obszar o powierzchni około 5 ha, a wymiar terenowy piksela GSD (ang. Ground Sample Distance) wyniósł około 25 cm.

Użyta platforma wyposażona była w sześć filtrów optycznych o szerokości 20 nm i środkach przedziałów optycznych: 460, 550, 570, 640, 760 i 850 nm, w detektory położenia oraz sensor oświetlenia terenu. Lot fotogrametryczny przebiegał według równoległych szeregów oddalonych od siebie o 100 m, odpowiadających pokryciu poprzecznemu około 65% i podłużnemu około 75%. Wstępne przygotowanie zdjęcia obejmowało przeskalowanie wartości jasności poszczególnych pikseli składowych obrazów wykonanych w różnych zakresach spektralnych z uwzględnieniem transmitancji filtra, czułości sensora oraz wartości ekspozycji: czasu i czułości sensora. Do każdego wykonanego zdjęcia przypisano wstępne elementy orientacji zewnętrznej: współrzędne X, Y, Z, wartości kątów obrotu kamery: przechylenie, pochylenie i odchylenie (ang. Roll, Pitch, Yaw) oraz dane dodatkowe, takie jak natężenie światła słonecznego oraz wartość parametrów ekspozycji (czas naświetlania i wzmocnienie elektroniczne sensora). Rekurencyjna analiza PCA zaproponowana w niniejszej publikacji ma na celu podwyższenie dokładności klasyfikacji pikselowej terenu. W pierwszym kroku wykonano analizę całego zdjęcia, dokonując podziału na klasy pokrycia terenu. Dla poszczególnych klas wykonywano powtórzną analizę PCA (rekurencyjną) odpowiadających im obszarów zdjęcia. Miało to na celu ekstrakcję dodatkowej zmienności w wyselekcjonowanych wstępnie klasach.

W pojedynczym kroku każdy piksel P analizowanego obszaru (w pierwszej iteracji było to całe zdjęcie, w kolejnych etapach wyznaczone w poprzedniej iteracji obszary zdjęcia) zinterpretowany został jako punkt w sześciowymiarowej przestrzeni wektorowej o współrzędnych równych odczytanej refleksyjności I w poszczególnych kanałach optycznych:

$$\vec{P} = (I_1, I_2, I_3, I_4, I_5, I_6) \in R^6$$

Zbiór Z wszystkich punktów reprezentujących badany obszar poddany został analizie PCA w wersji z użyciem macierzy kowariancji. W jej wyniku otrzymano sześć wektorów w_i ($i=1, \dots, 6$) i sześć wartości własnych badanego zbioru danych. Analiza PCA wykonywana była w autorskim oprogramowaniu Quercus PCA napisanym w języku C# przy użyciu biblioteki nMath 6.0. W kolejnym kroku cały zbiór danych został opisany we współrzędnych w przestrzeni wektorowej rozpiętej przez wektory własne:

$$\vec{P}' = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6) \text{ gdzie } x_i = \vec{w}_i \cdot \vec{P}$$

Następnie obliczony został rozkład gęstości $N(i, x)$ współrzędnych pikseli wzdłuż każdego z wektorów własnych w_i . Stworzono 6 rozkładów, a następnie na ich podstawie wydzielono na zdjęciu klasy pokrycia terenu. Klasy wyznaczano tak, aby w ich rozkładzie wzdłuż każdego z wektorów własnych nie istniały lokalne ekstrema funkcji $N(i, x)$, które dzielą zbiór danych na podklasy. Dla wyznaczonych w ten sposób obszarów przypisane zostały następujące dane: liczba pikseli należących do obszaru, średni wskaźnik NDVI (ang. Normalized Difference Vegetation Index), średnia sygnatura spektralna oraz średni wskaźnik VSI (ang. Vegetation Shadow Index). Analizie poddane zostały rozłączne klasy zajmujące powierzchnię powyżej 1% obszaru zarejestrowanego na zdjęciu. Pozostałe klasy, na podstawie podobieństw sygnatur spektralnych, zostały włączone do wyodrębnionych wcześniej obszarów pod warunkiem, że miara podobieństwa (współczynnik korelacji Pearsona) była dostatecznie wysoka.

W celu opisu bioróżnorodności wskazanego terenu leśnego wyznaczono wskaźnik Shannona-Wienera (H), uwzględniający liczbę gatunków i ich liczebność [Magurran 1988], oraz wskaźnik Simpsona określający prawdopodobieństwo wyboru w losowej próbie dwóch osobników należących do tego samego gatunku [Simpson 1949].

Wyniki

Stworzona metodyka szacowania różnorodności gatunkowej za pomocą analiz sygnatur spektralnych pozyskanych ze zdjęć lotniczych wykazała zróżnicowanie pokrycia terenu (ryc. 1). W pierwszym kroku na badanym obszarze wyróżniono pole uprawne, fragment drogi dojazdowej przesłoniętej drzewami oraz niejednorodny las.

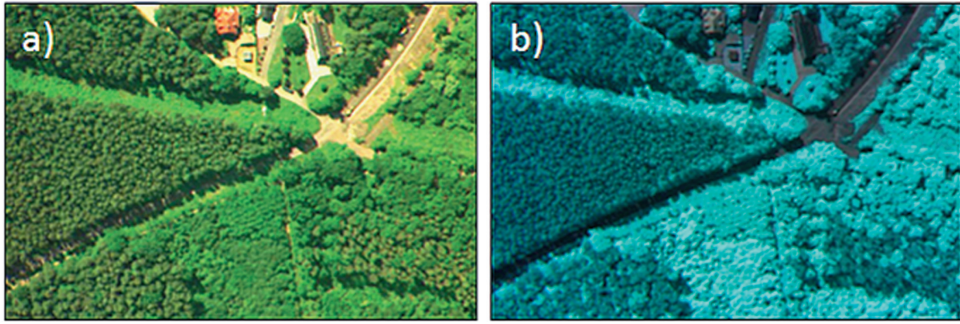
W wyniku pierwszej iteracji analizy czynnikowej typu PCA otrzymano sześć wektorów i wartości własnych, na podstawie których stwierdzono, że na zdjęciu dominują zmienności opisane przez dwa wektory o najwyższych odpowiadających im wartościach własnych. Do dalszych analiz wykorzystano wszystkie sześć typów zmienności, których rozkład rzutów wartości pikseli zdjęcia na wektory własne przedstawiono na wykresach (ryc. 2). Każdemu rozkładowi przyporządkowano funkcję gęstości $n(x)$ będącą sumą dwóch lub więcej rozkładów normalnych i podzielono na kategorie w punktach, dla których $dn/dx=0$, w wyniku czego dla każdego wektora własnego otrzymano podział obszaru zdjęcia na kolejno 2, 1, 3, 3, 3 i 3 kategorie. Każdy piksel na zdjęciu przyporządkowano do jednego ze 162 obszarów (ryc. 3). W wyniku pierwszej iteracji PCA ze 162 obszarów wybrano te o powierzchni odpowiadającej co najmniej 1% powierzchni zdjęcia (ryc. 4). Pozostałe obszary zostały przyporządkowane (dołączone) do wybranych wcześniej obszarów na podstawie wartości korelacji ich średnich sygnatur spektralnych (przy r Pearsona co najmniej 0,998). Średnie sygnatury spektralne poszczególnych obszarów zinterpretowanych jako zacieniona biomasa, drzewa iglaste, rośliny liściaste, poszycie oraz materia nieożywiona przedstawione zostały w tabeli. Wyodrębnione poprzez analizę PCA obszary reprezentują sześć głównych typów biomasy, z których rośliny liściaste zajmują 15,2%, a rośliny iglaste 17,9% obszaru zarejestrowanego na zdjęciu, poszycie 4%, a materia nieożywiona 7,4%. Największą powierzchnię obszaru zdjęcia zajmuje zacieniona biomasa (29,5%) oraz obiekty zaliczone do kategorii „pozostałe” (26%). Sygnatury spektralne wyznaczonych w pierwszej iteracji klas były na tyle niejednorodne, że nie można było podjąć próby ich interpretacji jako należących do pojedynczego gatunku. Na podstawie wyników pierwszej iteracji zdjęcie lotnicze zostało przepróbkowane do sześciu klas, reprezentowanych na zdjęciu przez różne barwy (ryc. 5).

W drugiej iteracji osobnym analizom PCA poddano obszary wyznaczone w iteracji pierwszej: rośliny liściaste, rośliny iglaste, teren zacieniony oraz podszyt (ryc. 6). Obszar zajęty przez drzewa i krzewy iglaste był jednorodny, obserwowane zmienności dotyczyły wyłącznie oświetlenia i zacienienia koron drzew, zaobserwowana średnica koron drzew iglastych była nieco większa na skraju drzewostanu, sygnatura spektralna obszaru korelowała w 99,11% z sygnaturą sosny zwyczajnej. Obszar zacieniony dzielił się na dwie zasadnicze klasy: a) obszar zacienionych koron drzew iglastych oraz b) obszar zacienionego poszycia – wyłączony z dalszych analiz różnorodności biologicznej. Teren pokryty roślinnością liściastą dzielił się na trzy zasadnicze klasy: a) obszar zurbanizowany z nasadzeniami roślinności – wyłączony z dalszych analiz, b) obszar, którego średnia sygnatura spektralna korelowała w 99,24% z sygnaturą dębu szypułkowego, c) niewielki obszar, którego średnia sygnatura spektralna korelowała z sygnaturą brzozy brodawkowatej i d) niewielki obszar, którego średnia sygnatura spektralna korelowała z sygnaturą dębu czerwonego. Podszyt dzieli się na: a) obszar w obrębie drzewostanu dębowego, którego średnia sygnatura spektralna korelowała z sygnaturą *Robinia pseudoacacia*, b) obszar poszycia w obrębie zadrzewienia brzoźowego, którego średnia sygnatura spektralna korelowała z sygnaturą bzu czarnego oraz c) pozostały obszar, który był niemożliwy do weryfikacji co do gatunku, dlatego został odrzucony w dalszej analizie.

W wyniku drugiej iteracji PCA został wyodrębniony obszar roślin drzewiastych stanowiący 52,2% obszaru widocznego na zdjęciu zajętego przez biomasę. Jego sygnatura spektralna została porównana z wzorami spektralnymi dostępnymi w literaturze oraz zweryfikowana podczas wizji terenowej. Wśród drzew dominującym gatunkiem była sosna zwyczajna stanowiąca 35% powierzchni pokrytej przez biomasę. Kolejny pod względem zajętej powierzchni był dąb szypułkowy (14%). Zaobserwowano także udział robinii pseudoakacji (1,3%), brzozy brodawkowatej (0,8%), bzu czarnego (0,1%) oraz dębu czerwonego (0,1%). Wyniki przeprowadzonej klasyfikacji zostały zaprezentowane graficznie na rycinie 6: kolor jasnozielony – sosna zwyczajna, ciemnozielony – dąb szypułkowy, żółty – dąb czerwony, pomarańczowy – brzoza brodawkowata, różowy – robinia pseudoakacja, czerwony – bez czarny, brązowy – odrzucona z analizy część poszycia, czarny – materia nieożywiona oraz obszar, który został odrzucony z dalszej analizy. Do analizy różnorodności drzew użyto wskaźników Shanona-Wienera (H) i Simpsona (D). Należy jednak zaznaczyć, że stosowane do typowego oszacowania bioróżnorodności powyższe wskaźniki bazują na liczebności poszczególnych gatunków, natomiast w niniejszej pracy uwzględniono liczbę pikseli na zdjęciu zinterpretowanych jako konkretny gatunek. Dla wyodrębnionych klas pokrycia terenu za pomocą pierwszej iteracji PCA wskaźniki bioróżnorodności (dla obszaru 5 ha) wyniosły: $H=74,57\%$, $D=55,60\%$ (przy $N=74\%$, $S=6$). Po drugiej iteracji, z wyłączeniem nasadzeń na terenie zurbanizowanym, wskaźniki dla gatunków roślin drzewiastych wyniosły: $H=75,19\%$ oraz $D=54,58\%$ (przy $N=52,2\%$, $S=6$). Różnice obliczonych wskaźników dla jednoetapowej analizy PCA i metody iteracyjnej wynoszą: $H=0,62\%$, $D=1,02\%$.

Dyskusja

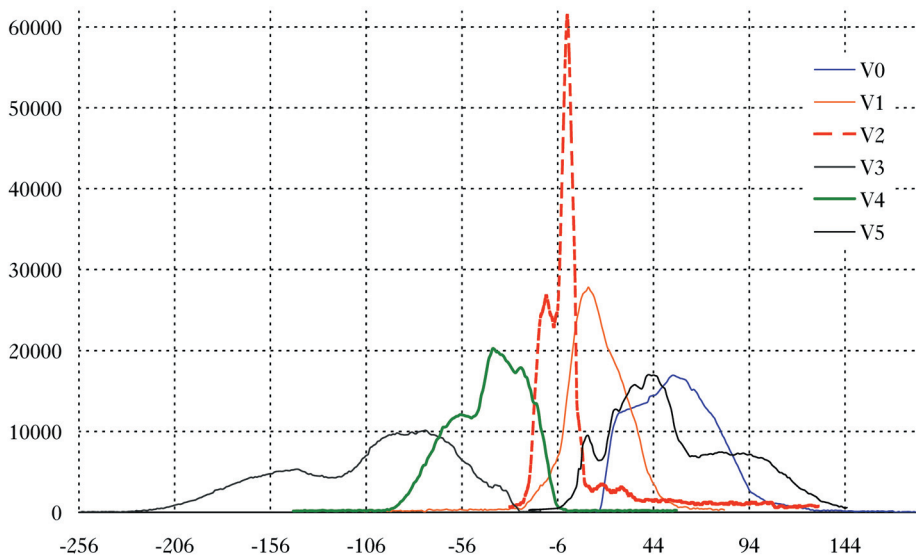
Zaproponowana w publikacji metoda klasyfikacji pokrycia terenu jest konkurencyjna wobec rozwiązań zaimplementowanych w powszechnie dostępnym oprogramowaniu, zarówno w popularnym oprogramowaniu komercyjnym ENVI [Badurska 2009], jak i darmowym oprogramowaniu QGIS z zainstalowanym dodatkiem do prowadzenia klasyfikacji (Semi-Automatic Classification). Przy tradycyjnym podejściu do klasyfikacji pikselowej niezbędne jest wstępne zaznaczenie obszarów testowych. W niniejszej publikacji zastosowano autorską półautomatyczną, iteracyjną klasyfikację z wykorzystaniem algorytmu PCA. Daje ona operatorowi możliwość kontroli procesu tworzenia klas (odwrotnie niż w przypadku automatycznego tworzenia klas w ENVI), ale jednocześnie nie wymaga wskazania pól testowych dla wszystkich możliwych klas pokrycia terenu, jak ma to miejsce w przypadku prowadzenia klasyfikacji tradycyjną metodą. Liczba klas zależy od „różnorodności wartości spektralnych” w obszarze analizowanej sceny. Przeprowadzona testowa analiza zdjęcia wielospektralnego wykazała, że zaproponowana w niniejszej publikacji metodyka badawcza działa poprawnie na zdjęciu z zarejestrowanym obszarem leśnym. Z wykorzystaniem analizy PCA możliwe stało się poprawne wyodrębnienie klas podstawowych: obszarów pokrytych drzewami liściastymi, iglastymi oraz elementami antropogenicznymi. W pierwszej iteracji analizy PCA niemożliwe było wydzielenie poszczególnych gatunków drzew i krzewów, co wynika z tego, że podział prowadzony jest w kierunku największej zmienności, a ta jest znacznie większa pomiędzy materią ożywioną i nieożywioną niż wewnątrz szczególnie istotnych klas reprezentujących roślinność. Na podstawie zdjęcia zostały wyznaczone trzy klasy reprezentujące różnorodność terenu leśnego: drzewa liściaste, drzewa iglaste i poszycie lasu. Warto zauważyć, że ze względu na silną ekspozycję słońca oraz duże względne różnice wysokości znaczna część obszaru opracowania znajduje się w cieniu. Obszary pokryte zacienioną roślinnością stanowią ponad 29,5% obszaru zdjęcia. W ramach drugiej iteracji udało się wydzielić klasy, które można było zinterpretować jako obszar zajmowany przez pojedynczy gatunek drzewa lub krzewu.



Ryc. 1.

Zdjęcie lotnicze powierzchni badawczej w Nadleśnictwie Karczma Borowa: a) kompozycja kanałów RGB (640 nm, 550 nm, 460 nm), b) kompozycja kanałów 700 nm, 760 nm, 850 nm

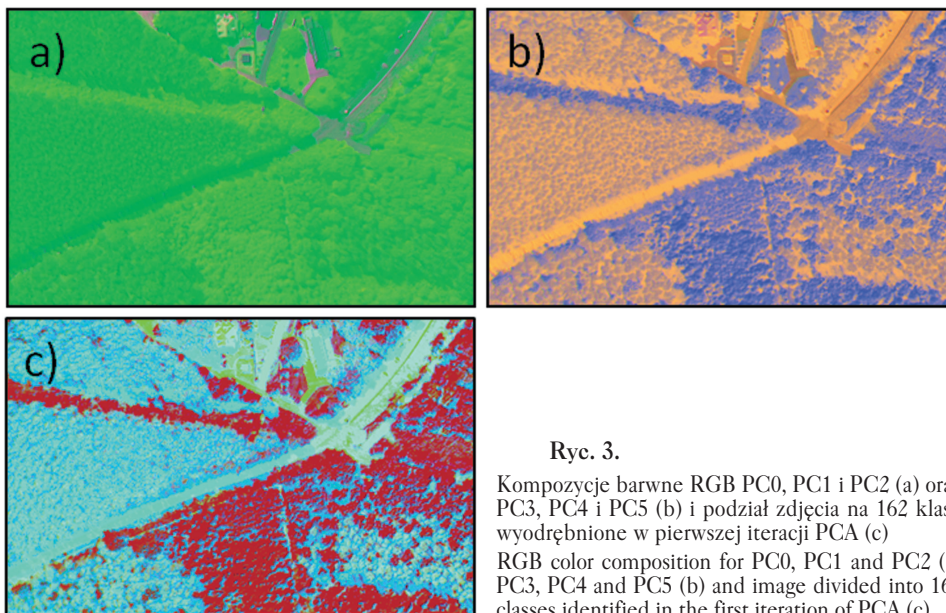
Aerial image of tested area in Karczma Borowa Forest District: a) false-color image – composition of 640 nm, 550 nm and 460 nm channels, b) false color image – composition of 700 nm, 760 nm and 850 nm channels



Ryc. 2.

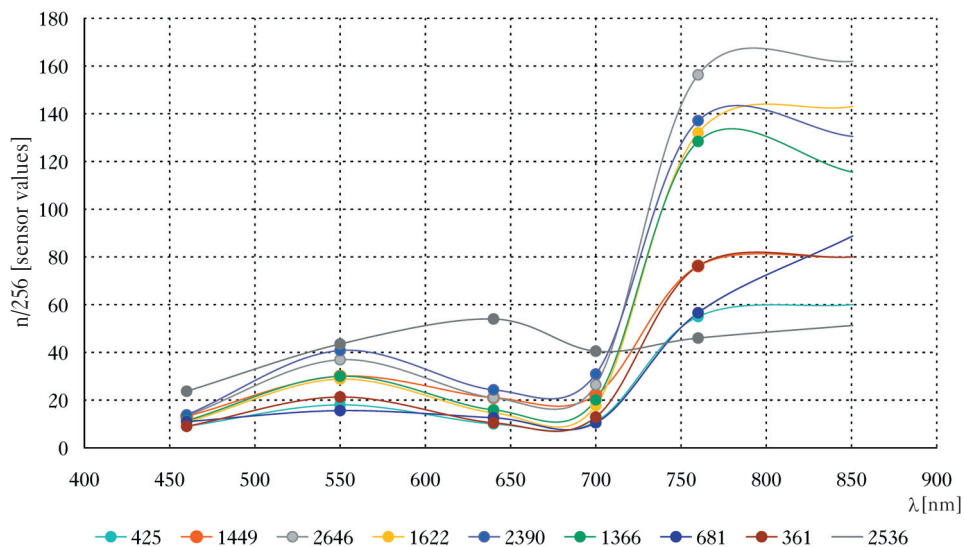
Histogramy współrzędnych pikseli zrzutowanych ortogonalnie na wektory własne w przestrzeni barw
Histograms of pixel coordinates orthogonally projected on the eigenvectors in the colour space

Na podstawie liczby pikseli należących do klas reprezentujących poszczególne gatunki wyznaczono wskaźniki różnorodności: Shanona-Wienera (H) i Simpsona (D). Druga iteracja algorytmu podzieliła obszar roślin liściastych na dominujący obszar zajęty przez dąb szypułkowy oraz bardzo niewielkie obszary zajęte przez brzozę brodawkowatą i dąb czerwony. Co prawda liczba klas pokrycia terenu po drugiej iteracji wzrosła, jednak dodatkowe klasy pokrywają bardzo małą powierzchnię, zatem ich wpływ na współczynniki bioróżnorodności jest niewielki. W przypadku analizowanego terenu różnica pomiędzy wskaźnikami H i D obliczonymi po pierwszej i drugiej iteracji jest niewielka. Można przypuszczać, że jest to rezultatem nikłego udziału wykrytych w trakcie drugiej iteracji dodatkowych gatunków. Zaproponowana metoda badania bioróżnorodności składa się z dwóch kluczowych etapów: tworzenia klas i ich interpretacji oraz obliczenia



Ryc. 3.

Kompozycje barwne RGB PC0, PC1 i PC2 (a) oraz PC3, PC4 i PC5 (b) i podział zdjęcia na 162 klasy wyodrębnione w pierwszej iteracji PCA (c)
 RGB color composition for PC0, PC1 and PC2 (a)
 PC3, PC4 and PC5 (b) and image divided into 162 classes identified in the first iteration of PCA (c)



Ryc. 4.

Średnie wartości odbicia promieniowania elektromagnetycznego o danej długości (λ [nm]) zarejestrowane przez kamerę dla wybranych klas pokrycia terenu
 Average values of reflectance of the given wavelength (λ [nm]) registered by the camera for selected classes of land cover

wskaźników bioróżnorodności. W pierwszym etapie pracy zastosowano autorską metodę, niezależną od oprogramowania zewnętrznego. Z kolei w drugim etapie liczebność poszczególnych gatunków zastąpiono liczbą wystąpień pikseli sklasyfikowanych jako dana roślina. W przyszłych pracach planowane jest wykorzystanie metod/algorytmów służących do grupowania pikseli i agregowania pikseli należących do pojedynczej rośliny, tak aby móc prowadzić badania różnorodności

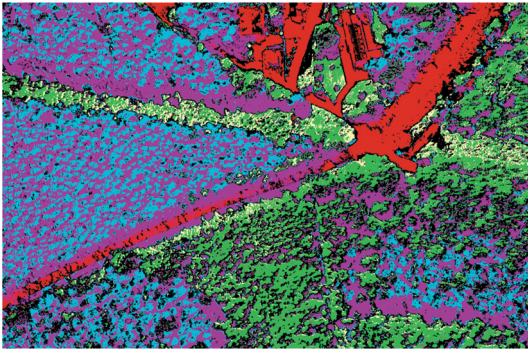
Tabela.

Liczba pikseli (N [tys. szt.]), udział powierzchni na zdjęciu (%A [%]), wartości indeksów NDVI [%] i VSI [%] oraz interpretacja wydzielonych obszarów (Id)

Number of pixels (N [$\times 1000$]), share of the image area (%A [%]), values of NDVI [%] and VSI [%] indices as well as interpretation of selected parts (Id) of the aerial image

Id	N	%A	NDVI	VSI	Interpretacja
425	215,3	22,32	64,1	33,33	Zacieniona biomasa Shadowed biomass
1449	149,2	15,47	53,96	44,65	Drzewa iglaste Conifers
2646	129,5	13,42	76,05	44,91	Rośliny liściaste Deciduous plants
1622	77,5	8,04	79,31	51,67	Rośliny liściaste Deciduous plants
2390	38,4	3,98	70,59	52,08	Poszycie Undergrowth
1366	30,9	3,20	77,67	52,56	Rośliny liściaste Deciduous plants
681	23,6	2,44	64,6	52,61	Drzewa iglaste Conifers
361	22,0	2,28	76,83	41,76	Zacieniona biomasa Shadowed biomass
2536	13,1	1,36	-8,51	52,48	Materia nieożywiona Lifeless matter

* uwzględniono obszary o %A >1; only areas with %A >1



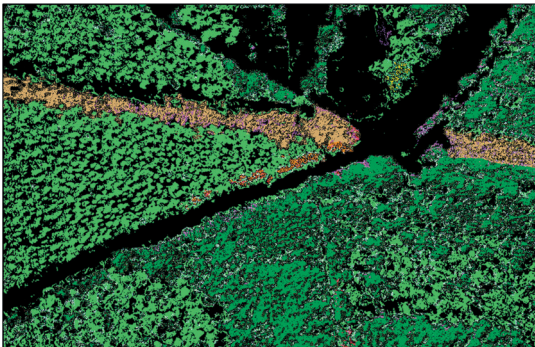
Ryc. 5.

Rozkład przestrzenny pokrycia terenu

Spatial distribution of land cover

zielony – liściaste, niebieski – iglaste, żółty – podszyt, fioletowy – teren zacieniony, czerwony – materia nieożywiona, czarny – brak interpretacji

green – deciduous trees, blue – coniferous trees, yellow – undergrowth, purple – shady area, red – lifeless matter, black – no interpretation



Ryc. 6.

Rozkład przestrzenny gatunków roślinności

Spatial distribution of plant species

gatunkowej w oparciu o liczbę osobników danego gatunku. Oczywiście zasadne to będzie jedynie dla tych roślin, których wymiar przestrzenny jest znacznie większy niż wymiar terenowy piksela (GSD).

Podsumowanie

W niniejszej publikacji została zaprezentowana metoda oceny różnorodności gatunków drzew występujących w obrębie lasu. Na podstawie wykonanych kamerą niemetryczną zdjęć wielospektralnych o rozdzielczości geometrycznej około 25 cm przeprowadzono klasyfikację pokrycia terenu, dokonano separacji materii nieorganicznej od biomasy oraz wyznaczono wskaźniki różnorodności drzewostanów na fotografowanym obszarze. Wyniki przeprowadzonych prac potwierdzają użyteczność metod teledetekcyjnych w badaniu różnorodności środowiska leśnego.

Przy ocenie różnorodności ekosystemów roślinnych z wykorzystaniem tylko i wyłącznie metod teledetekcyjnych należy przyjąć odmienny od klasycznego sposób liczenia populacji danego gatunku. Ze względu na to, że detekcja/klasyfikacja prowadzona jest na pikselach obrazu źródłowego, w badaniach należy rozważyć możliwość posługiwania się wielkością opisującą obszar zajmowany przez daną klasę, a nie tak jak w przypadku badań *in situ* – liczebność osobników danej klasy.

Prace przeprowadzone w oparciu o analizę składowych głównych zdjęcia wielospektralnego potwierdziły możliwość prawidłowego wydzielenia głównych klas roślinności. W przypadku PCA pierwszy podział na klasy przeprowadzony został wzdłuż wektorów o największej zmienności (niekoniecznie gatunkowej), która mogła wynikać z wielu przyczyn, m.in. różnic oświetlenia, obecności zbiorników wodnych i elementów antropogenicznych oraz wilgotności. W celu lepszego wyznaczenia klas proponowane jest zastosowanie rekurencyjnych algorytmów analizy obrazu. Tego typu podejście umożliwi dokładniejsze wyznaczenie podobzarów na zdjęciu i wypuklenie subtelnych zmian wewnątrz danej klasy, w tym obszarów zajmowanych przez pojedynczy gatunek.

W przypadku wysokorozdzielczych zdjęć o pikselu terenowym <1 m istotne przy definiowaniu klas jest rozpatrzenie warunków oświetleniowych. W przypadku obiektów mniejszych niż wielkość piksela terenowego zmiana oświetlenia ma kluczowe znaczenie dla jego wartości radiometrycznej. Zmienność zarejestrowana na zdjęciu nie wynika wtedy z bioróżnorodności gatunkowej. Ze względu na stosunkowo duży obszar zinterpretowany jako cień (29,5%) proponowane jest, żeby w kolejnych pracach dodatkowo rozpatrzeć warunki oświetleniowe, godzinę wykonania zdjęć oraz kąt padania promieni słonecznych.

Literatura

- Badurska M., Drzewiecki W., Tokarczyk P. 2009. Mapy podstawowych form pokrycia i użytkowania terenu zlewni Raby powyżej zbiornika Dobczyckiego – porównanie dokładności klasyfikacji pikselowej i obiektowej obrazów LANDSAT TM. Teledetekcja Środowiska 42: 15-21.
- Cowan N. B., Strait T. E. 2013. Determining Reflectance Spectra of Surfaces and Clouds on Exoplanets. The Astrophysical Journal Letters.
- Czapski P., Kacprzak M., Korniluk T., Kotlarz J., Kubiak K., Mazur A., Mrowiec K., Oszako T., Pieniążek J., Pośpieszyk A., Tkaczyk M., Wodziński K., Zalewska N. 2014. Budowa i zastosowanie platformy wielosensorowej w badaniu wybranych parametrów środowiska. Prace Instytutu Lotnictwa 234: 126-142.
- Iqbal J., Ahmed Z. 2014. Evaluation of Landsat TM5 Multispectral Data for Automated Mapping of Surface Soil Texture and Organic Matter in GIS. European Journal of Remote Sensing (47): 557-573.
- Magguran A. E. 1988. Ecological Diversity and its Measurement. Croom Helm Ltd, London.
- Mularz S., Drzewiecki W. 2008. Interpretacja głównych elementów krajobrazu na teledetekcyjnych obrazach lotniczych i satelitarnych. Czasopismo Techniczne 105 (1-A): 101-107.

- Osińska-Skotak K. 2010. Metodyka wykorzystania super- i hiperspektralnych danych satelitarnych w analizie jakości wód śródlądowych. *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Geodezja* 47: 150-153.
- Sienkiewicz J. 2010. Koncepcje bioróżnorodności – ich wymiary i miary w świetle literatury. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*: 7-29.
- Simpson E. H. 1949. Measurement of diversity. *Nature* 163: 688.
- Xu B., Gong P. 2007. Land-use/Land-cover Classification with Multispectral and Hyperspectral EO-1 Data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 73 (8): 955-965.