

WPLYW WIEKU DRZEWOSTANÓW NA ICH CHARAKTERYSTYKI SPEKTRALNE I WARTOŚCI WYBRANYCH WSKAŹNIKÓW WEGETACYJNYCH

INFLUENCE OF TREES AGE ON SPECTRAL CHARACTERISTICS AND SELECTED VEGETATION INDICES

Paweł Piekarski, Piotr Dzieszko

Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych,
Instytut Geoekologii i Geoinformacji, Zakład Geoekologii

Słowa kluczowe: teledetekcja, systemy informacji geograficznej (GIS), wskaźniki wegetacyjne
Keywords: remote sensing, geographical information system (GIS), vegetation indices

Wprowadzenie

Teledetekcja satelitarna to dziedzina nauki, która charakteryzuje się bardzo szybkim i stałym postępem technologicznym. W latach 70. XX wieku z danych satelity LANDSAT dokonywano już klasyfikacji terenu, wydzielenia obszarów leśnych oraz ich podziału na piętra roślinności (Fleming, Hofer, 1979). Rozdzielczość przestrzenna danych pozwala na szczegółowe określenie zmian powierzchni zajmowanej przez lasy (Virk, King, 2006), szacowanie wielkości biomasy (Zheng i in., 2004) lub wydzielenie martwych drzewostanów (Ekstrand, 1996).

Rozdzielczość przestrzenna zobrażeń satelitarnych stale rośnie. Jednak oprócz ciągle zwiększanej rozdzielczości przestrzennej obrazów satelitarnych, jednocześnie rozwijane są możliwości spektralne zobrażeń. Wykorzystanie do analiz satelitów hiperspektralnych spowodowało nową jakość do badań naukowych. Rejestrowanie zdjęć w bardzo wąskich zakresach spektralnych pozwoliło na otrzymanie informacji o cechach zarówno strukturalnych, jak i biochemicznych drzew. Wiele badań potwierdziło zależności pomiędzy zawartościami związków chemicznych a wielkością odbicia spektralnego, w pewnych wąskich zakresach promieniowania elektromagnetycznego. W ten sposób można określić między innymi zależność pomiędzy odbiciem spektralnym a zawartością wody lub chlorofilu w liściach (Gitelson i Merzlyak, 1993; Wężyk i in., 2003; Colombo i in., 2008).

Obszary leśne od lat są przedmiotem zainteresowania specjalistów wielu dziedzin. Teledetekcja jest w przypadku badania obszarów leśnych narzędziem bardzo wdzięcznym. Pozy-

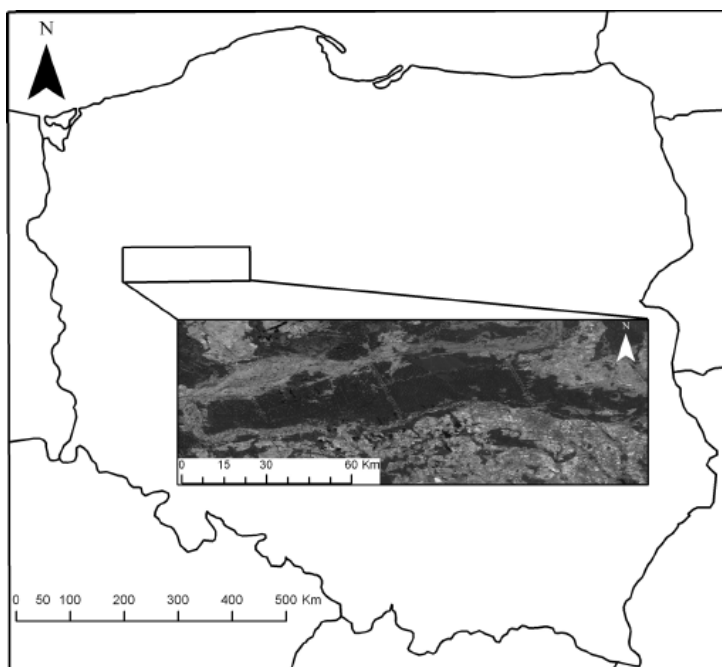
skiwanie informacji o lasach w sposób zdalny jest szybkie i wygodne. Dodatkowo stały rozwój technik teledetekcyjnych sprawia, że opracowania z tego zakresu są coraz dokładniejsze i kompleksowe. W tym kontekście teledetekcja wydaje się być idealnym narzędziem do badań środowiskowych, niezależnie czy opiera się na pomiarach satelitarnych, lotniczych, czy naziemnych.

Cel badań

Celem badań prezentowanej pracy jest określenie różnic w charakterystykach spektralnych drzewostanów sosnowych, w zależności od ich wieku oraz momentu sezonu wegetacyjnego. W pracy dokonano także określenia zależności pomiędzy wartościami wskaźników wegetacyjnych obliczonych dla drzewostanów a ich wiekiem. Rozpoznano również charakter zmienności wartości odbicia spektralnego i wskaźników wegetacyjnych w zależności od wieku drzewostanu.

Obszar badań

Obszarem badań (rys. 1) jest teren Puszczy Noteckiej. Leży ona w makroregionie Pradoliny Toruńsko-Eberswaldzkiej, w mezoregionie Kotliny Gorzowskiej według podziału Kondrackiego (2009). Jest to duży kompleks leśny zajmujący około 135 000 ha. Puszcza Noteca porasta wydmy obszaru międzyrzecza warciańsko-noteckiego. Jej podstawowym składnikiem są różnowiekowe drzewostany sosnowe. Taka struktura obszaru badań idealnie sprzyja



Rys. 1. Obszar badań

badaniu powiązań pomiędzy wiekiem drzewostanów sosnowych a ich charakterystykami spektralnymi i wartościami wskaźników wegetacyjnych. Głównym kryterium wyboru obszarów testowych był jednorodny skład gatunkowy drzewostanu.

Rodzaje i źródła danych

Dane pozyskano z serwisu internetowego USGS (ang. *United States Geological Survey*). Agencja ta udostępnia zobrażenia satelitów Landsat, MODIS i Aster. Do analizy wybrano sceny satelitarne zarejestrowane przez sensor TM, znajdujący się na pokładzie satelity Landsat 5. Aby uchwycić zmienność odbicia spektralnego oraz wskaźników wegetacyjnych w czasie sezonu wegetacyjnego wybrano dwa zdjęcia wiosenne, jedno letnie i dwa jesienne według termicznych pór roku (Lorenc, 2005). Zdjęcia wykonane były w 5 terminach: 24 kwietnia, 25 maja, 6 lipca, 24 września i 7 października 2011 roku.

Pozyskane dane dostępne były w 7 kanałach spektralnych, przy czym do analizy wybrano 6 z nich: 1 – niebieski (0,45-0,52 μm); 2 – zielony (0,52-0,60 μm); 3 – czerwony (0,63-0,69 μm); 4 – kanał bliskiej podczerwieni NIR (0,76-0,90 μm); 5 – kanał średniej podczerwieni SWIRa (1,55-1,75 μm); 7 – kanał średniej podczerwieni SWIRb (2,08-2,35 μm). Ze względu na niższą rozdzielczość, wykluczono z analizy kanał szósty (termalny).

Dane taksacyjne dla analizowanych powierzchni leśnych pozyskano z Banku Danych o Lasach. Głównym celem budowanego Banku Danych o Lasach jest dostarczanie informacji dotyczących stanu lasu i gospodarki leśnej w lasach, wszystkich form własności w powiązaniu z ochroną przyrody i stanem środowiska przyrodniczego, na potrzeby różnych szczebli organizacji i zarządzania w leśnictwie, ochrony środowiska, nauki oraz na potrzeby statystyki publicznej i międzynarodowej, a także planowania przestrzennego i społeczeństwa. Z punktu widzenia osób zajmujących się przetwarzaniem i analizą danych przestrzennych, Bank Danych o Lasach znacząco usprawnia pracę analityczną. Wszystkie potrzebne informacje na temat wydzieleń leśnych, wieku drzewostanu i informacji o właściwościach drzew w wydzieleniach są obecnie ogólnodostępne w postaci serwisu WMS i geoportalu. Pozwala to na pominięcie czasochłonnego etapu pozyskiwania potrzebnych do analiz informacji z nadleśnictw, na terenie których przeprowadza się analizę.

Metody badań

Na potrzeby dalszej analizy wykonano korekcję zobrażeń satelitarnych. Korekcja ta obejmowała korekcję radiometryczną oraz topograficzną.

Korekcja radiometryczna

Korekcja radiometryczna, to uzyskanie wiarygodnych informacji o odbitym promieniowaniu elektromagnetycznym, w postaci współczynnika odbicia lub wielkości radiancji spektralnej na powierzchni Ziemi. Wykonuje się ją w celu usunięcia błędów pomiaru promieniowania i przekształcenia obrazu do jednostek odbicia spektralnego. Jest to proces niezbędny przy wykorzystaniu zobrażeń satelitarnych w badaniach środowiska przyrodniczego. Do korekcji radiometrycznej wykorzystano opracowany do użytku w oprogramowaniu TNT

Mips skrypt Parisa (2005), który zmienia będaące w skali 8-bitowej wartości DN (ang. *Digital Numbers*) na 16-bitowy standaryzowany współczynnik odbicia (ang. *Standardized Reflectance Factor Index*) (tab. 1), ograniczając również wpływ atmosfery na radiometrię zdjęć. Głównymi etapami korekcji radiometrycznej są (Osińska-Skotak, 2007):

- 1) usunięcie dystorsji radiometrycznych, wynikających między innymi z niejednakowej funkcji przenoszenia sygnału każdego z detektorów matrycy skanera oraz z błędów w transmisji danych,
- 2) kalibracja detektorów, określana również mianem konwersji wartości radiometrycznych DN na wartości bezwzględne radiancji (Lillesand, Kiefer, 1987),
- 3) korekcja atmosferyczna,
- 4) korekcja wpływu położenia Słońca.

Etap drugi korekcji radiometrycznej polega na konwersji bezwymiarowych wartości radiometrycznych DN, zarejestrowanych przez detektory satelitarne, na radiancję spektralną na górnej granicy atmosfery. Zwykle zależność pomiędzy DN a rejestrowaną radiancją jest liniowa, ale przeskalowanie jest różne dla różnych zakresów rejestrowanego promieniowania (Osińska-Skotak, 2007).

Etap trzeci – korekcja atmosferyczna, określa wpływ atmosfery i aerozoli w niej zawartych na sygnał odbierany przez detektory umieszczone na platformie satelitarnej. Znaczenie korekcji radiometrycznej w procesie przetwarzania zdjęć satelitarnych polega na wyeliminowaniu, bądź ograniczeniu niekorzystnego wpływu atmosfery.

Etap czwarty korekcji radiometrycznej – korekcja wpływu położenia Słońca w momencie rejestracji danych – ma na celu uwzględnienie wpływu zmienności oświetlenia wzdłuż lotu satelity oraz zmian zachodzących w relacji pomiędzy kątem widzenia skanera i kątem padania promieni słonecznych, co pozwala między innymi porównywać dane zarejestrowane w różnych porach roku (Osińska-Skotak, 2007).

Tabela 1. Wartości odbicia spektralnego w poszczególnych kanałach przed i po korekcji radiometrycznej dla trzech przykładowych obszarów testowych (z analizowanego zbioru 100 powierzchni testowych)

Obszar testowy	Wartość odbicia	Kanały spektralne*					
		1	2	3	4	5	7
1	przed korekcją (DN)	61	25	20	62	43	15
	po korekcji (SFRI)	175	263	214	1885	844	375
2	przed korekcją (DN)	67	25	20	67	44	16
	po korekcji (SFRI)	191	266	219	1862	872	398
3	przed korekcją (DN)	68	26	21	66	45	17
	po korekcji (SFRI)	194	278	227	1832	891	416

*Kanały spektralne: 1 – niebieski (0,45–0,52 μm), 2 – zielony (0,52–0,60 μm), 3 – czerwony (0,63–0,69 μm), 4 – bliska podczerwień NIR (0,76–0,90 μm), 5 – średnia podczerwień SWIRa (1,55–1,75 μm), 7 – średnia podczerwień SWIRb (2,08–2,35 μm).

Korekcja topograficzna

Korekcja topograficzna (rys. 2) uwzględnia wpływ deniwelacji i zacielenia na obszary o zróżnicowanym ukształtowaniu terenu. Redukuje ona wpływ niejednakowego i niejednorodnego oświetlenia, na przykład na zboczach gór. Scena satelitarna po usunięciu wpływu zacielenia jest mniej kontrastowa, ale wiele detali niewidocznych na scenie oryginalnej staje się widoczne (Osińska-Skotak, 2007).



Rys. 2. Fragment zobrazowania satelitarnego poddanego korekcji topograficznej: A – zdjęcie satelitarne przed korekcją topograficzną, B – zdjęcie satelitarne po korekcji topograficznej, C – mapa różnic pomiędzy A i B

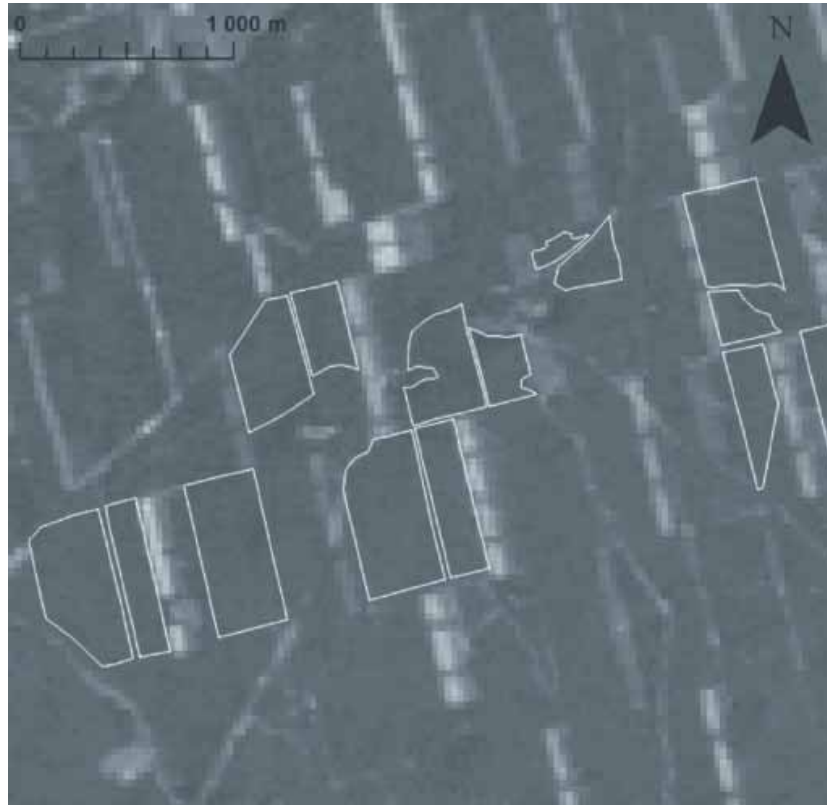
W celu dokonania korekcji topograficznej, również posłużono się skrypcem Parisa (2005), który koryguje wartości standaryzowanego współczynnika odbicia SRFI dla obszarów zacienionych. W analizie wykorzystano, opracowany z pomiarów radarowych model terenu SRTM, pobrany z serwisu internetowego Narodowej Agencji Aeronautyki i Przestrzeni Kosmicznej. Pozyskany model miał rozdzielczość przestrzenną 90 m. Poddano go ponownemu próbkowaniu do rozdzielczości 30 m. Po korekcji otrzymano jednorodnie oświetlone sceny satelitarne. W skrypcie wykorzystano dane o dacie przetwarzania, kątach zenitalnym i horyzontalnym, które odczytano z pliku metadanych wykorzystanych zdjęć Landsata.

Wygenerowanie krzywych spektralnych

Dla obszaru badań wyznaczono 100 obszarów testowych (rys. 3). Każdy obszar testowy mieścił się w granicach jednego pododdziału, który charakteryzował się jednorodnym składem gatunkowym drzewostanu. Drzewa, w obrębie każdego obszaru testowego, odznaczały się równym wiekiem. W pracy skupiono się jedynie na wieku drzewostanów i ich związku z wartościami wskaźników wegetacyjnych. Pominięto inne cechy, takie jak: zagęszczenie, zwarcie lub witalność. Wybrano obszary testowe drzew w wieku od 20 do ponad 100 lat. Dla każdego obszaru testowego obliczono średnią wartość odbicia spektralnego w 6 analizowanych kanałach. Wartość ta obliczona została ze wszystkich komórek obrazu rastrowego, które znajdowały się w granicach warstwy wektorowej. Charakterystyki spektralne każdego z analizowanych pododdziałów leśnych wygenerowano dla pięciu analizowanych terminów sezonu wegetacyjnego. Dla każdej powierzchni testowej otrzymano więc średnie wartości odbicia w sześciu kanałach spektralnych, w pięciu różnych terminach sezonu wegetacyjnego.

Obliczenie wskaźników wegetacji

Wskaźniki wegetacyjne obliczono dla każdej powierzchni, w każdym z pięciu analizowanych terminów sezonu wegetacyjnego. Do badań wybrano 3 wskaźniki wegetacji:



Rys. 3. Przykładowe powierzchnie testowe w Puszczy Noteckiej na tle zobrazowania satelitarnego

- znormalizowany różnicowy wskaźnik wegetacji NDVI (ang. *Normalized Difference Vegetation Index*, Rouse i in., 1973)

$$NDVI = \frac{R_{NIR} - R_{RED}}{R_{NIR} + R_{RED}}$$

- znormalizowany różnicowy wskaźnik zieleni NDGI (ang. *Normalized Difference Greenness Index*, Bannari i in., 1995).

$$NDGI = \frac{R_{GREEN} - R_{RED}}{R_{GREEN} + R_{RED}}$$

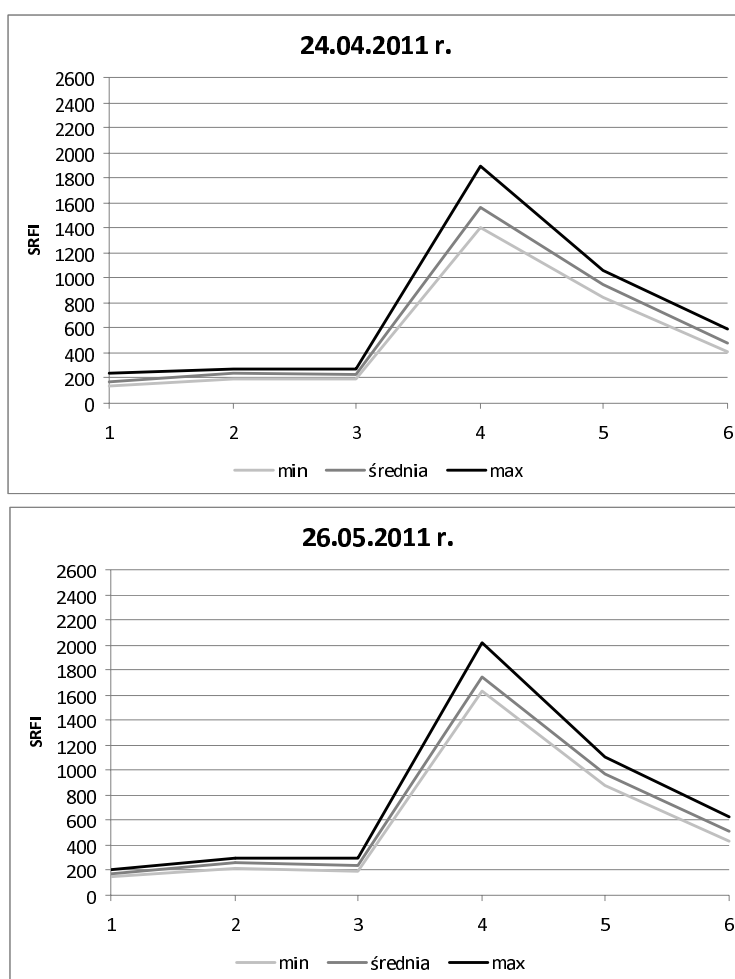
- znormalizowany wskaźnik różnic NDI (ang. *Normalized Difference Index*, Bannari i in., 1995)

$$NDI = \frac{R_{NIR} - R_{SWIRa}}{R_{NIR} + R_{SWIRa}}$$

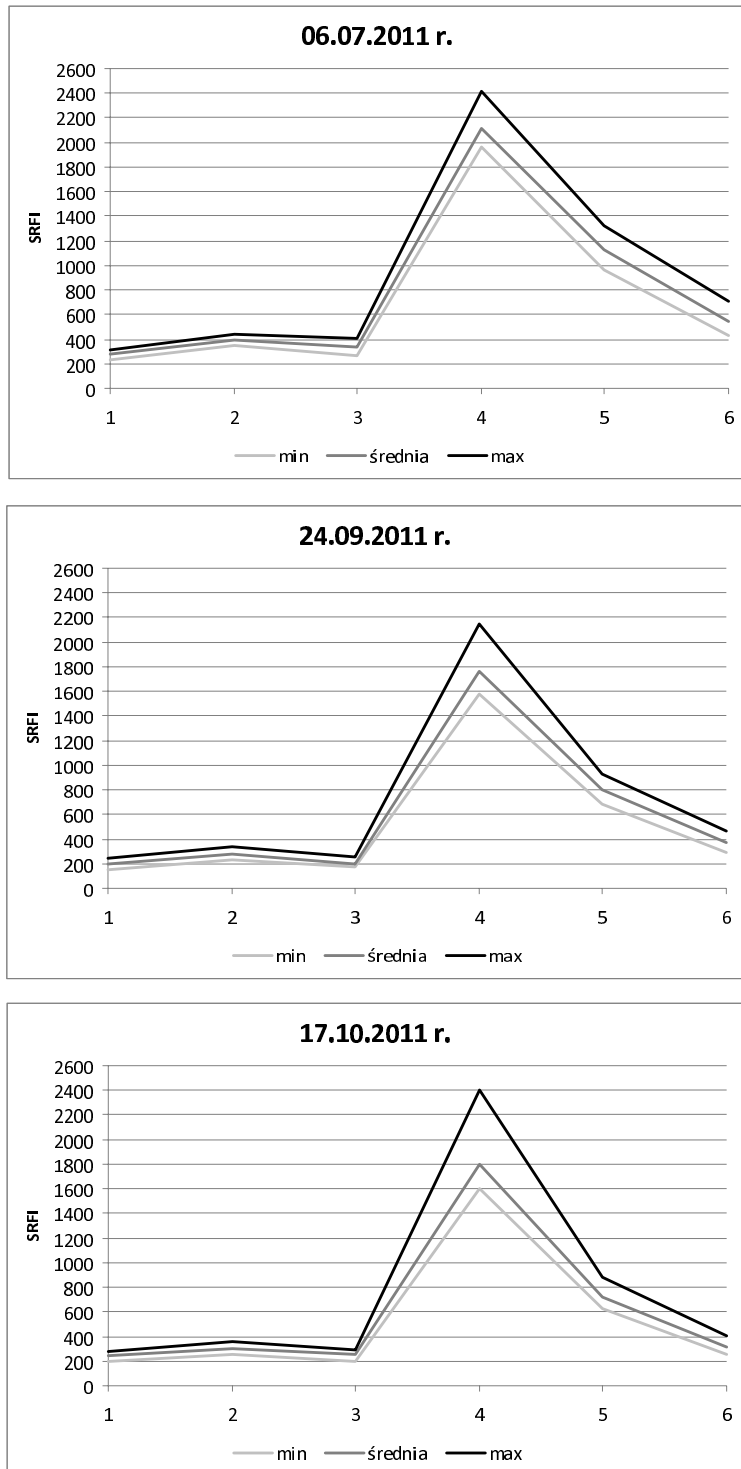
Obliczono także współczynniki korelacji wieku drzewostanów z wartościami odbicia spektralnego oraz wartościami wskaźników wegetacji.

Wyniki

Na podstawie wygenerowanych krzywych spektralnych dla 100 analizowanych obszarów testowych (rys. 4) można stwierdzić niewielkie zróżnicowanie wartości odbicia spektralnego w pierwszych trzech kanałach spektralnych, a więc w kanałach widzialnego zakresu promieniowania. Dużo większymi różnicami charakteryzują się wartości w kanałach, zarówno bliskiej, jak i średniej podczerwieni. W tych zakresach spektralnych różnice pomiędzy wartościami odbicia dla poszczególnych powierzchni badawczych wynosiły od kilku do ponad 30% (termin 17.20.2011 r.).



Rys. 4. Krzywe spektralne opracowane na podstawie wartości odbicia (minimalnych, średnich i maksymalnych) dla drzewostanów sosnowych w pięciu analizowanych terminach sezonu wegetacyjnego; wartości wygenerowane ze 100 obszarów testowych; kanały spektralne: 1 – niebieski (0,45–0,52 μm), 2 – zielony (0,52–0,60 μm), 3 – czerwony (0,63–0,69 μm), 4 – bliska podczerwień NIR (0,76–0,90 μm), 5 – średnia podczerwień SWIRa (1,55–1,75 μm), 7 – średnia podczerwień SWIRb (2,08–2,35 μm) (cd rysunku 4 na stronie 74)



Rys. 4. cd.ze strony 73

Analizując tabelę przedstawiającą wartość współczynnika korelacji pomiędzy wielkością odbicia w poszczególnych kanałach spektralnych a wiekiem drzewostanów porastających badane powierzchnie (tab. 2), warty zauważenia jest fakt podwyższonej wartości tego współczynnika (na poziomie ok. 0,4) dla widzialnego zakresu promieniowania w terminie 06.07.2011 r. Badania fenologiczne Linder (1972) wykazują, że w okresie letnim igły sosny charakteryzują się największym stężeniem chlorofilu. Wielkość współczynnika korelacji w tym terminie może być więc w pewnym stopniu uwarunkowana zmianami chemicznymi w igłach sosny. Dodatni charakter relacji między wiekiem a wielkością odbicia, może wskazywać na sytuację, w której igły młodszych drzewostanów charakteryzują się wyższą zawartością chlorofilu niż drzewostany dojrzałe wiekowo. Wielkość odbicia spektralnego w zakresie widzialnym jest bowiem odwrotnie proporcjonalna do zawartości chlorofilu w liściach

Tabela 2. Wartości współczynnika korelacji pomiędzy wiekiem drzewostanu a obiciem spektralnym w poszczególnych kanałach spektralnych w pięciu analizowanych terminach sezonu wegetacyjnego dla 100 analizowanych powierzchni testowych; pogrubione zostały wyniki istotne statystycznie

Kanał	24.04.2011 r.		26.05.2011 r.	
	wiek drzewostanu	p-value	wiek drzewostanu	p-value
Niebieski	-0,12	0,448	-0,24	0,002
Zielony	-0,02	0,946	-0,11	0,217
Czerwony	0,08	0,281	0,01	0,986
Bliska podczerwień NIR	-0,46	3,645e⁻¹⁰	-0,41	4,166e⁻⁶
Średnia podczerwień SWIRa	-0,02	0,937	0,06	0,591
Średnia podczerwień SWIRb	0,04	0,662	0,09	0,429

Kanał	6.07.2011 r.		24.09.2011 r.	
	wiek drzewostanu	p-value	wiek drzewostanu	p-value
Niebieski	0,38	0,003	-0,25	0,015
Zielony	0,46	4,239e⁻⁶	-0,22	0,016
Czerwony	0,42	6,221e⁻⁵	0,17	0,071
Bliska podczerwień NIR	-0,29	0,008	-0,54	6,81e⁻⁸
Średnia podczerwień SWIRa	0,33	0,002	0,19	0,116
Średnia podczerwień SWIRb	0,32	0,003	0,28	0,012

Kanał	17.10.2011 r.	
	wiek drzewostanu	p-value
Niebieski	0,27	0,007
Zielony	0,27	0,006
Czerwony	0,28	0,01
Bliska podczerwień NIR	-0,51	3,309e⁻⁷
Średnia podczerwień SWIRa	0,07	0,755
Średnia podczerwień SWIRb	0,17	0,214

(Daughtry i in., 2000). Potęgować to zjawisko może również różnica w ilości igieł pomiędzy drzewostanami młodymi a starszymi.

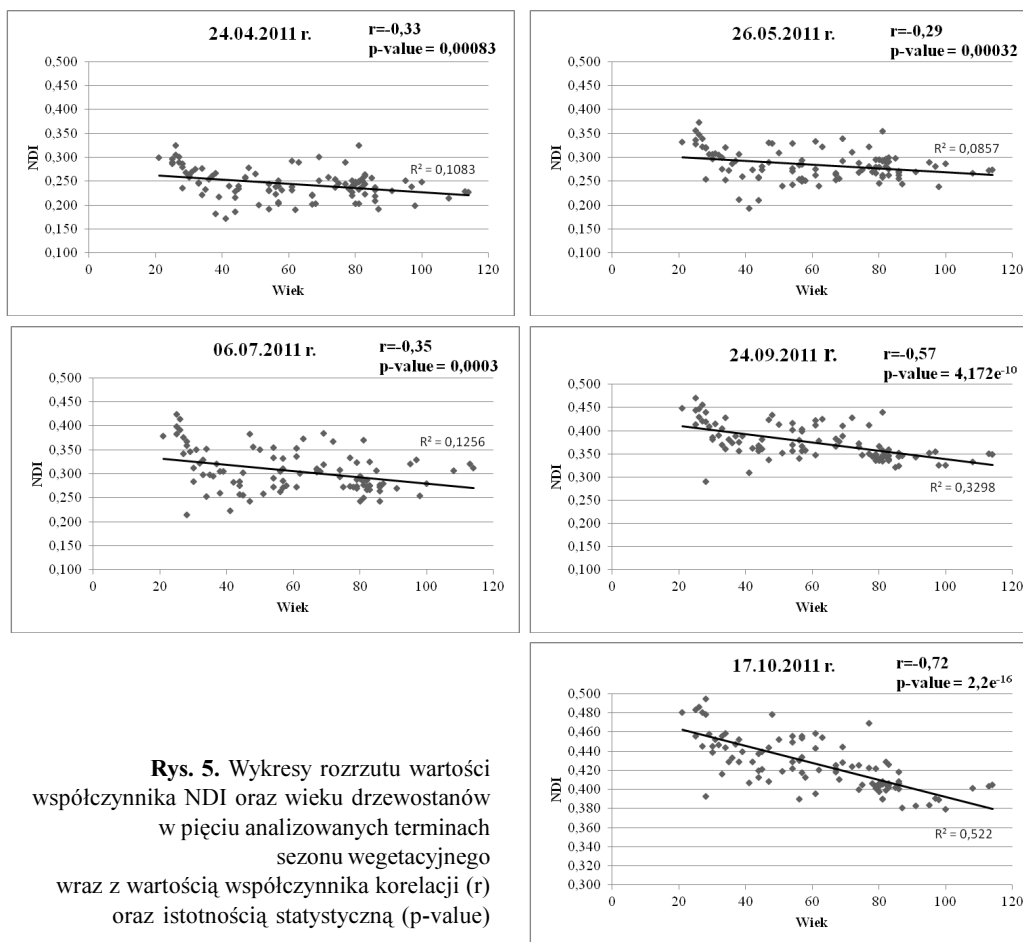
Zakres bliskiej podczerwieni, również w podobnym stopniu, obrazuje zróżnicowanie wewnątrz analizowanych drzewostanów sosnowych. Zakres ten reaguje jednak na zawartość wody oraz powietrza wewnątrz igieł (Kumar i in., 2002). W tym przypadku badania również wykazały korelację pomiędzy odbiciem w bliskiej podczerwieni a wiekiem sosny, na poziomie od -0,3 do -0,5. W przypadku pozostałych kanałów, wartości współczynnika korelacji przyjmowały niskie wartości (głównie poniżej 0,2). Dodatkowo, większość z tych wyników była nieistotna statystycznie (p-value >0,05).

Wartości współczynników korelacji, obliczone dla analizowanych wskaźników wegetacji (tab. 3), również zawierały się w dolnym zakresie skali korelacji. Wskaźniki NDVI oraz NDGI najwyższe wartości przyjmowały w terminie letnim (ok. 0,4) oraz jesiennym (ok. 0,5). Relacja pomiędzy wiekiem a wartościami wskaźników była w przypadku wskaźnika NDVI odwrotnie proporcjonalna, zaś w przypadku NDGI wprost proporcjonalna. W pozostałych terminach sezonu wegetacyjnego wskaźniki te nie były skorelowane z wiekiem drzew.

Warta zauważenia jest zależność między wiekiem drzewostanów sosnowych a wartościami wskaźnika NDI i ich zmienność w czasie trwania sezonu wegetacyjnego (rys. 5). Wartości współczynnika korelacji wzrastały od terminu wiosennego (26.05.2011 r.) od poziomu -0,29, osiągając swoje maksimum w terminie jesiennym (17.10.2011 r.), które wyniosło -0,72. Wartość, pokazuje więc znaczną korelację pomiędzy tym wskaźnikiem a wiekiem sosen. Korelacja ma charakter odwrotnie proporcjonalnej, co oznacza, że im młodszy drzewostan tym wyższe wartości współczynnika NDI. Termin jesienny oraz fakt, że współczynnik ten jest wykorzystywany w teledetekcji rolniczej do określania zawartości wody, może wskazywać na zjawisko dłuższego zatrzymywania wody w igłach, w przypadku drzewostanów młodszych tuż przed zimą.

Tabela 3. Wartości współczynnika korelacji pomiędzy wiekiem drzewostanu a wartościami analizowanych wskaźników wegetacji w poszczególnych terminach sezonu wegetacyjnego dla 100 analizowanych powierzchni testowych; pogrubione zostały wyniki istotne statystycznie

Data	NDVI		NDGI		NDI	
	wiek drzewo- stanu	p-value	wiek drzewo- stanu	p-value	wiek drzewo- stanu	p-value
24.04.2011 r.	-0,32	0,001	0,29	0,003	-0,33	0,002
26.05.2011 r.	-0,17	0,045	0,17	0,122	-0,29	0,002
06.07.2011 r.	-0,41	4261e⁻⁵	0,46	5,233e⁻⁵	-0,35	0,003
24.09.2011 r.	-0,14	0,281	0,15	0,057	-0,57	4,312e⁻⁸
17.10.2011 r.	-0,51	5,114e⁻⁶	0,54	3,882e⁻⁶	-0,72	2,22e⁻¹⁰



Rys. 5. Wykresy rozrzutu wartości współczynnika NDI oraz wieku drzewostanów w pięciu analizowanych terminach sezonu wegetacyjnego wraz z wartością współczynnika korelacji (r) oraz istotnością statystyczną (p-value)

Dyskusja

Przeprowadzona analiza wykazała zależności pomiędzy wartościami odbicia spektralnego, zarejestrowanego w sześciu kanałach spektralnych a wskaźnikami wegetacji i wiekiem drzewostanów sosnowych na stosunkowo niskim poziomie. Na uwagę zasługują jednak wyniki dotyczące zależności pomiędzy wiekiem drzew a wartościami wskaźnika NDI, które w terminie jesiennym odznaczały się znaczną korelacją.

W związku z tym, autorzy uważają, że istnieje potrzeba dalszych badań uszczegółwiających. Poprawę wyników mogłaby zapewnić analiza danych hiperspektralnych. Niestety pozyskanie danych tego typu jest kosztowne, w związku z czym autorzy ograniczyli się jedynie do danych wielospektralnych. Badanie wartości odbić i współczynników korelacji dla setek kanałów spektralnych, umożliwiłoby jednakże wyznaczenie zakresów spektralnych, które w największym stopniu odzwierciedlają wiek drzewostanów sosnowych. Na podstawie takich danych można by również opracować nowe wskaźniki wegetacyjne, których wartości róż-

nicowałyby obszary porośnięte różnowiekowym drzewostanem sosnowym. Również uszczegółowienie w postaci zobrazowań w innych terminach sezonu wegetacyjnego, mogłoby wpłynąć na poprawę wyników. Kolejne zobrazowania pozwoliłyby na bardziej szczegółowe odwzorowanie zmian zachodzących w drzewostanach sosnowych w trakcie trwania sezonu wegetacyjnego. Uszczegółowienie badań mogłoby również pozwolić na opracowanie algorytmu klasyfikacyjnego, który umożliwiłby różnicowanie drzewostanów będących w różnych stadiach rozwoju, a w przypadku otrzymania wyników świadczących o bardzo wysokiej korelacji, na zdalne określanie wieku drzewostanów.

Literatura

- Bannari A., Motin D., Bonn F., 1995: A Review of Vegetation Indices. *Remote Sensing Reviews* 13: 95-120.
- Colombo R., Meroni M., Marchesi A., Busetto L., Rossini M., Giardino C., Panigada C., 2008: Estimation of leaf and canopy water content in poplar plantations by means of hyperspectral indices and inverse modeling. *Remote Sensing of Environment* 112: 1820-1834.
- Daughtry C.S.T., Walthall C.L., Kim M.S., Brown de Colstoun E., McMurtrey J.E., 2000: Estimating Corn Leaf Chlorophyll Concentration from Leaf and Canopy Reflectance. *Remote Sensing of Environment* 74: 229-239.
- Ekstrand S., 1996: Landsat TM-based forest damage assessment: corrections for topographic effects. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 62: 151-161.
- Fleming M.D., Hoffer R.M., 1979: Machine Processing of Landsat MSS Data and DMA Topographic Data for Forest Cover Type Mapping. *LARS Symposia* 302: 377-390.
- Gitelson A., Merzlyak M.N., 1994: Spectral reflectance changes associated with autumn senescence of *Aesculus hippocastanum* L. and *Acer platanoides* L. leaves. Spectral features and relation to chlorophyll estimation. *Journal of Plant Physiology* 143: 286-286.
- Kondracki J., 2009: Geografia regionalna Polski, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Kumar L., Schmidt K., Dury S., Skidmore A., 2002: Imaging Spectrometry and Vegetation Science. [W:] van der Meer F.D., de Jong S.M., Imaging Spectrometry. Basic Principles and Prospective Applications, Springer, Dordrecht.
- Kurczyński Z., 2006: Lotnicze i satelitarne obrazowanie Ziemi, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- Lillesand T.M., Kiefer R.W., 1987: Remote sensing and image interpretation. Second edition. John Wiley & Sons.
- Linder S., 1972: Seasonal Variation of Pigments in Needles. A Study of Scots Pine and Norway Spruce Seedlings Grown under Different Nursery Conditions. *Studia Forestalia Suecica* 100: 5-37.
- Lorenc H., 2005: Atlas klimatu Polski, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa.
- Osińska-Skotak K., 2007: Znaczenie korekcji radiometrycznej w procesie przetwarzania zdjęć satelitarnych. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji* 17B: 577-590.
- Paris J., 2005: Tutorials about Remote Sensing Science and Geospatial Information Technologies. Dostęp 1.07.2013. <http://www.microimages.com/sml/smlscripts/ParisScripts/FAQsbyJackB.pdf>
- Rouse Jr. J.W., Haas R.H., Schell J.A., Deering D.W., 1973: Monitoring the vernal advancement and retrogradation (Green wave effect) of natural vegetation. Progress Report RSC: 1-112.
- Virk R., King D., 2006: Comparison of Techniques for Forest Change Mapping Using Landsat Data in Karnataka, India. *Geocarto International* 21(4): 49-57.
- Węzyk P., Wertz B., Waloszek A., 2003: Skaner hiperspektralny AISA (Airborne Imaging Spectrometer for Applications) jako narzędzie pozyskiwania informacji o ekosystemie leśnym. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji* 13B: 485-496.
- Zheng D., Rademacher J., Chen J., Crow T., Bresee M., LeMoine J., Ryua S-R., 2004: Estimating aboveground biomass using Landsat 7 ETM+ data across a managed landscape in northern Wisconsin, USA. *Remote Sensing of Environment* 93: 402-411.

Abstract

Data obtained by remote sensing (satellite and airborne imaging, laser scanning) provide a lot of information about environment surrounding us that allows to conduct both quantitative and qualitative analyses. This information makes it also possible to differentiate phenomena in time and space. Remote sensing techniques have been already used for dozens of years in environmental research. A good example of the use of information obtained by remote sensing is remote sensing of forested areas. The area selected by the authors for research was Notecka forest, latitudinally spread in the mesoregion of Kotlina Gorzowska. The forest is one of the largest forest areas in Poland featured with high share of pine stands.

The aim of the research was to determine the differences in spectral characteristics of pine stands at different age in Notecka forest and the impact of the age of these stands on the magnitude of reflection of electromagnetic radiation in different spectral ranges and at different terms of vegetation season. Another aim was to determine relationship between the age of pine stands and the value of selected vegetation indices in these terms of the vegetation season.

Within such a dense forest complex as Notecka forest 100 test areas were selected. The selection criterion was uniform species and age of trees in these areas. Every test area selected was covered with pine stands at defined age. The materials used for analyses were satellite images made by Thematic-Mapper sensor located on Landsat 5 satellite. The images had spatial resolution on the level of 30m. The images were obtained from different terms of the vegetation season. For analysis, value of radiation reflection was determined for six spectral ranges and spectral characteristics were generated for each test area. Spectral characteristics allowed to determine differences between stands at different age. The value of reflections in individual ranges made it possible to calculate three vegetation indices which served for further analysis. Based on statistical methods, relationship between the age of stands and value of individual vegetation indices were determined as well as differences between the terms of the vegetation season when the satellite images were made.

mgr Paweł Piekarski
pawelpie@amu.edu.pl

mgr Piotr Dzieszko
dzieszko@amu.edu.pl