

# METODYKA OSZACOWANIA DEFOLIACJI *QUERCUS ROBUR* L. NA PODSTAWIE ANALIZY REFLEKTANCJI W ZAKRESIE 0,64-0,73 $\mu\text{m}$

Streszczenie

Ocena defoliacji koron jest użytecznym wskaźnikiem kondycji i żywotności drzew. W ramach projektu HESOFF podjęta została próba wypracowania metodyki oszacowania defoliacji drzewostanów dębu szypułkowego (*Quercus robur*) za pomocą analizy wielospektralnych zdjęć lotniczych wykonywanych z użyciem sześciokanałowej Platformy Wielosensorowej QUERCUS.6. Podczas cyklu wegetacyjnego (marzec-wrzesień 2015 r.) wykonane zostały zobrażenia lotnicze drzewostanów dębowych Płyty Krotoszyńskiej (zakres widzialny promieniowania elektromagnetycznego i bliska podczerwień). W badanych drzewostanach został oznaczony poziom defoliacji metodami terenowymi. Na podstawie fotografii wykonany został model wysokościowy pokrycia terenu oraz oznaczono niezacienioną część koron dębów. Dla 49 drzew o znanym poziomie defoliacji wykonano analizę PCA refleksyjności uwzględniając odpowiednio oświetloną część ich koron, poziom defoliacji zmierzony *in situ* oraz model wysokościowy. Analiza wykazała silnie ujemną korelację poziomu defoliacji oraz refleksyjności w kanale optycznym 0,73  $\mu\text{m}$ . Na podstawie tej zależności zaproponowano metodę oszacowania defoliacji z wykorzystaniem zdjęć lotniczych.

**Słowa kluczowe:** defoliacja, teledetekcja, red edge, *Phytophthora*, PCA

## Wstęp

Wskaźnik defoliacji jest powszechnie stosowaną w leśnictwie metodą oceny stanu zdrowotności drzew [18]. Parametr ten jest szeroko rozpowszechniony i stosowany we wszystkich aspektach prac terenowych poczynając od oceny stanu zdrowotnego, inwentaryzacji wielkopowierzchniowej, po zadania związane z ochroną lasu. W ramach tych ostatnich działań defoliacja może być stosowana jest jako parametr służący do oceny porażenia korzeni przez patogeny glebowe z rodzaju *Phytophthora* [3, 5, 11, 12]. Organizmy te infekują korzenie drobne rośliny gospodarza, prowadząc do ich obumierania. W konsekwencji, roślina ma ograniczone możliwości pobierania wody, co bezpośrednio przekłada się na osłabienie całego drzewa, czego skutkiem jest ubytek aparatu asymilacyjnego. Choroba prowadząca do osłabienia kondycji drzewa wywołana inwazją patogenów *Phytophthora* nazywa się fytoftorozą. Wczesne jej rozpoznanie (m.in. poprzez ocenę defoliacji) może pomóc w ograniczeniu rozprzestrzeniania się choroby na większą skalę. Niestety, często monitorowanie defoliacji każdego drzewa w nadleśnictwach (w przypadku nadleśnictwa Krotoszyn jego powierzchnia wynosi 18 685 ha) może być pracochłonnym i czasochłonnym zajęciem wymagającym znacznego nakładu finansowego. Z tego względu konieczne jest opracowanie nowoczesnych, szybkich i miarodajnych metod związanych z szacowaniem uszkodzeń korony drzew leśnych.

Wraz z udostępnieniem zdjęć wielospektralnych wykonywanych przez satelity programu *Landsat* powstało wiele opracowań poświęconych korelacji refleksyjności z defoliacją drzewostanów [15]. W oszacowaniach parametrów związanych z biomasą najczęściej stosowane były oparte o analizę porównawczą kanałów optycznych wskaźniki wegetacyjne takie jak *Simple NIR/Red Ratio* [9], *Shortwave/Visible Ratio* [19] czy *Reflectance Absorption Index* [1]. Wiele modeli opisujących kondycję biomasy powstało na podstawie obserwowanej wariacji refleksyjności w pojedynczych kanałach

optycznych lub częściej wskaźników wegetacyjnych (np. *NIR/Red Ratio*, *Normalized Difference Vegetation Index*) [15]. Innym podejściem było monitorowanie wskaźników biomasy w ciągu całego cyklu wegetacyjnego lub zmienności czasowej wskaźników [2]. Wszystkie te metody odnoszą się jednak do zdjęć niskorozdzielczych (od 225 m<sup>2</sup> do nawet 10 000 m<sup>2</sup> na piksel). Również rozdzielczość spektralna sensorów satelitarnych jest dość niska (od szerokości spektralnej ok. 50  $\mu\text{m}$  w paśmie widzialnym do nawet 200  $\mu\text{m}$  w bliskiej podczerwieni). Zdjęcia lotnicze wykonane za pomocą Platformy QUERCUS.6 ze względu na wyższą rozdzielczość przestrzenną oraz zastosowanie bardzo wąskich kanałów optycznych (rzędu 10  $\mu\text{m}$ ) pozwoliły na precyzyjne dobranie parametrów wykonywania zdjęć pod kątem pomiaru defoliacji wybranego gatunku.

Celem niniejszej pracy było wypracowanie metodyki szacowania defoliacji koron drzew gatunków lasotwórczych na przykładzie drzewostanów dębowych na terenie tzw. Płyty Krotoszyńskiej (Nadleśnictwo Krotoszyn).

## Metody badawcze

### 1. Pozyskanie zdjęć i pomiar defoliacji *in situ*

Zdjęcia testowe zostały wykonane samolotem typu Cessna ze specjalnie zamontowaną Platformą Wielosensorową QUERCUS.6. Nie została zastosowana dodatkowa, zewnętrzna stabilizacja systemu optycznego. Poprzednie loty wykazały, że kąty przechylenia, pochylenia oraz wychylenia kamer mieszczą się w zakresie do 5 stopni kątowych. Przed akwizycją materiału zdjęciowego przygotowany został plan lotu i wyznaczono kluczowe parametry (tab. 1).

Zaplanowano łącznie dziesięć szeregów o długości około 2,5 km. Uwzględniona została konieczna zakładka wykraczająca poza obszar badawczy. Szeregi oddalone były od siebie o około 100 metrów. Zgodność przeprowadzonego lotu z projektowaną osią szeregu wynosiła około 15 metrów. Pozyskiwane zdjęcia zapisywane były w wielowarstwowym pliku graficz-

nym. Do każdego z nich przypisane są przybliżone elementy orientacji zewnętrznej [10], które następnie importowane są do programu wykonującego aerotriangulację. Dodatkowo do wyrównania bloku zdjęć wykorzystywane są sygnalizowane punkty osnowy terenowej pomierzone techniką GPS/RTK. Ze względu na pokrycie terenu punkty te zostały rozłożone głównie na granicy lasu i pola oraz wzdłuż dróg wewnątrz lasu. Jednoczesny proces wyrównania (aerotriangulacja) wielu warstw spektralnych gwarantował osiągnięcie maksymalnej możliwej dokładności wzajemnej. Dodatkowo dzięki wykorzystaniu sygnalizowanych fotopunktów pomierzonych z dokładnością około 3 cm osiągnięta została wysoka dokładność geometryczna wynikowej ortofotomapy. Współrzędne punktów wyznaczane były z dokładnością nie gorszą niż 10 cm.

Tab. 1. Główne parametry lotu

Table 1. Main parameters of the flight

Wyszczególnienie	Wartość
Wysokość lotu	800 m
Odległość między osiami szeregów	100 m
Wielkość terenowa piksela	0,25 m
Zasięg poprzeczny pojedynczego zdjęcia	201 m
Zasięg podłużny pojedynczego zdjęcia	300 m
Pokrycie podłużne zdjęć	75%
Pokrycie poprzeczne zdjęć	65%

Źródło: opracowanie własne / Source: own study

Drzewostan dębowy, na którym prowadzono badania znajduje się na obszarze tzw. „Płyty Krotoszyńskiej”, na terenie Nadleśnictwa Krotoszyn. Powierzchnia badawcza została wydzielona zgodnie z założeniami projektu HESOFF i zajmowała 5 ha. Ocena defoliacji koron dębów została wykonana w czerwcu 2015 r., za pomocą metody szacunkowej, polegającej na obserwacji pokroju korony drzewa oraz oszacowania ubytku aparatu asymilacyjnego względem drzewa modelowego. Pomiaru terenowe zostały wykonane przez wykwalifikowany personel Instytutu Badawczego Leśnictwa wiosną 2015 roku po rozwinięciu się liści oraz ustąpieniu przymrozków późnych (które w naszym klimacie zdarzają się jeszcze w maju).

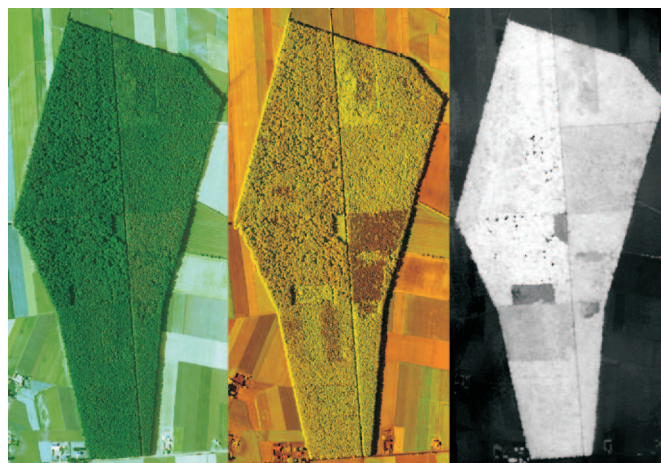
## 2. Separacja obszarów nasłonecznionego i zacienionego

W pierwszym kroku ograniczono obszar poddawany dalszym analizom poprzez eliminację na zdjęciu fragmentów zacienionych. Redukcję tę wykonano za pomocą metody histogramowej [6, 13, 16]. Do podziału całego zobrazowania na obszary zacieniony i niezacieniony wybrano losowo obszary testowe o łącznej powierzchni 179 472 piksele, które wizualnie zakwalifikowano jako cień. Do wyznaczenia obszaru zacienionego na obszarze całego zobrazowania użyto wartości średnich refleksyjności na obszarze testowym oraz odchyłeń standardowych refleksyjności w paśmie czerwonym 0,64  $\mu\text{m}$ . Aby oszacować zasięg cienia koron drzew wyznaczono linię progową na poziomie średniej wartości odbicia w kanale czerwonym plus dwa odchylenia standardowe [6].

## 3. Budowa numerycznego modelu pokrycia terenu

Do budowy modelu wysokościowego powierzchni badawczej posłużyły pozyskane za pomocą Platformy QUERCUS.6 zdjęcia lotnicze. Proces przetwarzania zdjęć został wykonany w oprogramowaniu *Agisoft PhotoScan*. W wyniku korelacji obrazów wygenerowana została surowa

chmura punktów, która następnie została poddana filtracji i klasyfikacji [4] metodą interpolacji [8]. W wyniku klasyfikacji chmury punktów wyodrębniono dwie klasy: punkty reprezentujące teren oraz punkty reprezentujące obiekty ponad terenem. Obie klasy zostały wykorzystane do budowy Numerycznego Modelu Pokrycia Terenu (NMPT). Zdefiniowanie topologii w metodzie interpolacji nastąpiło w wyniku zastosowania algorytmów, odtwarzających ukształtowanie modelowanej powierzchni. W niniejszym badaniu, aby w maksymalnym stopniu oddać charakterystykę przestrzenną terenu, zrezygnowano z ekstrapolacji obszarów nie pokrytych punktami. W efekcie obszar badawczy został przedstawiony w postaci rastra, w którym wartość radiometryczna pikseli odpowiadała wysokości w obowiązującym w Polsce Układzie Wysokości Normalnych (rys. 1).



Źródło: opracowanie własne / Source: own study

Rys. 1. Lotnicze zdjęcia wielospektralne drzewostanu dębowego w Nadleśnictwie Krotoszyn wykorzystane do analiz porównawczych z wskaźnikami defoliacji badanych *in situ* drzew: refleksyjność zarejestrowana w kanałach 0,46  $\mu\text{m}$ , 0,52  $\mu\text{m}$  i 0,64  $\mu\text{m}$  (po lewej), refleksyjność w kanałach 0,73  $\mu\text{m}$ , 0,82  $\mu\text{m}$  i 0,95  $\mu\text{m}$  (na środku) oraz model wysokościowy pokrycia terenu (po prawej)

Fig. 1. Aerial multispectral images of an oak stand in the Krotoszyn Forest Inspectorate used for comparative study with test trees defoliation *in-situ* indices: reflectance measured in 0.46  $\mu\text{m}$ , 0.52  $\mu\text{m}$  and 0.64  $\mu\text{m}$  channels (left), in 0.73  $\mu\text{m}$ , 0.82  $\mu\text{m}$  and 0.95  $\mu\text{m}$  (middle) and the digital height model (right)

## 4. Analiza głównych składowych

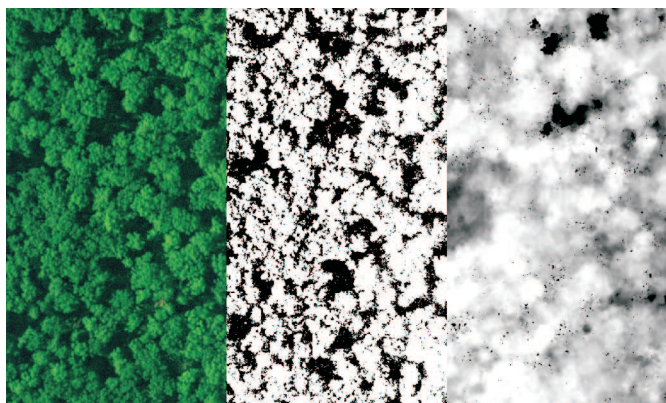
W dalszych etapach analizy, na obszarze zdjęcia zajmowanym przez dobrze oświetloną część drzewostanu, oznaczono korony 49 dębów o znanych z pomiarów terenowych wartościach defoliacji. Następnie, dla obszaru zajmowanego przez badane drzewa zastosowano analizę PCA. Sześć pierwszych współrzędnych reprezentowało refleksyjność w każdym z kanałów optycznych, siódma współrzędna odpowiadała defoliacji zmierzonej *in situ*, ósma modelowi wysokościowemu.

Każdy piksel obrazujący oświetloną część korony drzewa reprezentowany był zatem w ośmiowymiarowej przestrzeni metrycznej. Taki zbiór danych został poddany analizie PCA. Do analizy użyto macierzy korelacji ze względu na różne jednostki opisujące położenie danych w poszczególnych wymiarach. Pierwszych sześć wymiarów odwzorowywało piksel w jednostkach natężenia światła, siódmy (odwzorowujący defoliację) był bezwymiarowy, a ósmy (odwzorowujący model pokrycia) wyrażony był w metrach. W wyniku

analizy PCA otrzymano osiem wektorów i wartości własnych, wśród których szukano wektora wiążącego współrzędną odpowiadającą defoliacji z pozostałymi. W ostatnim etapie zastosowano zaobserwowane związki do analizy zdjęć wykonanych w każdym z nalołów fotogrametrycznych podczas całego okresu wegetacyjnego.

## Wyniki badań

W wyniku korekcji cieni zdjęć wielospektralnych drzewostanów dębowych, z dalszych analiz wykluczono ok. 35% powierzchni zdjęcia obrazującego badany teren. W skład wykluczonej części zdjęcia weszły zarówno zacienione fragmenty koron dębów, jak i elementy podszytu (rys. 2).



Źródło: opracowanie własne / Source: own study

Rys. 2. Zobrazowanie fragmentu powierzchni badawczej projektu HESOFF w nadleśnictwie Krotoszyn. Od lewej: kompozycja RGB (0,46 μm, 0,52 μm, 0,64 μm), analiza zacienienia z wykorzystaniem kanału 0,52 μm, model wysokościowy pokrycia terenu. Na podstawie analizy porównawczej zacienienia i modelu wysokościowego można wnioskować, że z dalszych analiz wielospektralnych wykluczono zarówno elementy podszytu, jak i zacienione części koron drzew

Fig. 2. Research area of the HESOFF project in the Krotoszyn Forest Inspectorate (fragment). RGB composition: 0.46 μm, 0.52 μm, 0.64 μm (left), shadow area analysis based on 0.52 μm channel reflectance (middle), digital elevation model (right). Comparative analysis of shadow area and the digital model shows that the understory and the shaded crown parts were excluded from further multispectral analyses

W wyniku analizy PCA otrzymano dwa główne wektory własne (tab. 2). Pierwszy z nich opisywał zbiór danych jako tym jaśniejszy w kolorze zielonym (0,52 μm) w stosunku do kanałów czerwonego i niebieskiego im wyżej położony w modelu wysokościowym znajdował się dany fragment korony. Drugi wektor wiązał pomiar defoliacji *in situ* z reflektancją w zakresie bliskiej podczerwieni (0,73 μm).

Tab. 2. Dwie główne składowe obszaru zdjęcia odpowiadające niezacienionym częściom koron drzew. Na podstawie tych danych można powiązać wysokość drzewa z jego jasnością w kanale zielonym oraz wskaźnik defoliacji z reflektancją w paśmie 0,73 μm

Table 2. Two main components of the photo area corresponding to the unshaded parts of the tree crowns. On the basis of these data, the height of the tree with its brightness in the green channel and the defoliation index with reflectance in the 0.73 μm band may be combined

Wektor własny	Kanał optyczny [μm]						Defoliacja (pomiar <i>in situ</i> )	Model wysokościowy
	0,46	0,52	0,64	0,73	0,82	0,95		
V1	-0,59	0,54	-0,3	0,01	0,07	-0,02	0,00	0,52
V2	0,00	-0,03	0,01	0,69	-0,05	0,03	0,72	0,02

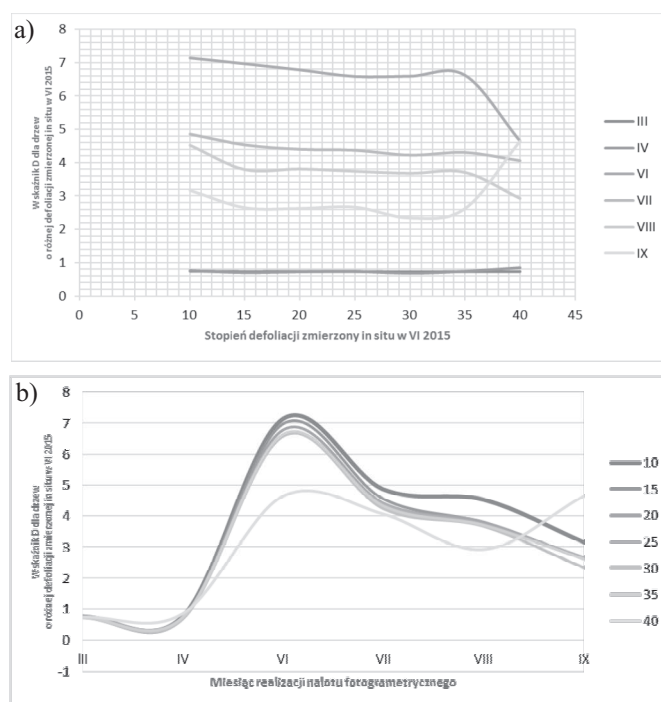
Źródło: opracowanie własne / Source: own study

Powyższe obserwacje uzasadniają zastosowanie do pomiaru defoliacji wskaźnika analogicznego do zaproponowanego w pracy [9] z wykorzystaniem danych o reflektancji w kanałach 0,73 μm i 0,64 μm:

$$D = \frac{I_{730 \text{ nm}}}{I_{640 \text{ nm}}}$$

Wyniki analizy PCA sugerują, że wraz ze wzrostem defoliacji maleje reflektancja w kanale 0,73 μm. Jednocześnie, reflektancja w kanale 0,64 μm jest niezależna od stopnia defoliacji, co sugeruje wektor drugi. Należy także zwrócić uwagę, że postulowany do użycia wskaźnik defoliacji może być wrażliwy na duże zmiany w wysokości analizowanych koron drzew (dla niskich części koron wskaźnik będzie dążył do zera).

Stosując zaproponowany wskaźnik obliczono korelacje poziomu defoliacji zmierzonego *in situ* z wartością wskaźnika dla miesięcy: marzec, kwiecień, czerwiec, lipiec i sierpień 2015 r. (rys. 3).



Źródło: opracowanie własne / Source: own study

Rys. 3. Zależność pomiarów defoliacji *in situ* z wartościami lotniczego wskaźnika  $D = I_{730nm} / I_{660nm}$ : a) zróżnicowanie wskaźnika  $D$  w każdym miesiącu, w którym realizowany był naloł fotogrametryczny 2015 r. b) ewolucja czasowa wskaźnika  $D$

Fig. 3. Comparison of defoliation *in situ* measurements with aerial  $D = I_{730nm} / I_{660nm}$  indices: a)  $D$  index variability in each month of the photogrammetric flight realized in 2015 b) time evolution of the  $D$  indice

Tab. 3. Zgodność poziomu defoliacji zmierzonego *in situ* w czerwcu 2015 r. ze wskaźnikiem *D* zmierzonym w poszczególnych miesiącach 2015 r.

Table 3. Compatibility of defoliation indices measured *in situ* in June 2015. with the *D* index measured in particular months of 2015

Miesiąc	III	IV	VI	VII	VIII	IX
Współczynnik korelacji Pearsona	-69,66%	-28,92%	-91,03%	-88,27%	-74,56%	-72,11%

Źródło: opracowanie własne / Source: own study

## Dyskusja

Mimo że zaproponowany wskaźnik zdalnego pomiaru defoliacji jest podobny do zawartego w pracy Jordana [9] obrazuje inne parametry biomasy. W pracy tej wykorzystano różnicę w reflektancji w kanale bliskiej podczerwieni pomiędzy koronami drzew a podszycem do zobrazowania wpływu zacienionych niższych partii lasu na sumaryczną reflektancję całego kompleksu leśnego. W pracy autorzy uwzględnili jednak tylko nasłonecznione części koron, zatem związek reflektancji w kanale 0,73  $\mu\text{m}$  z defoliacją wynika z innych niż w pracy Jordana przyczyn. W wyniku matematycznego modelowania sygnatur spektralnych reflektancji dla wielu gatunków roślin przedział bliskiej podczerwieni, tuż ponad typowym dla sygnatur biomasy regionem „red edge”, okazuje się być niezwykle wrażliwym na parametr odpowiadający defoliacji ze względu na skład biochemiczny liści [17]. Uzyskane wyniki pozwalają wyznaczyć czerwiec i lipiec jako optymalne miesiące pozwalające oszacować defoliację opisaną tu metodą. W trakcie cyklu wegetacyjnego w 2015 r. w miesiącach marcu i kwietniu obserwowane wartości wskaźnika oscylowały w granicy 0,5-1,0, co jest charakterystyczne dla pokrycia terenu z małą koncentracją chlorofilu [7]. Na przełomie wiosny i lata (czerwiec i lipiec) wskaźnik osiąga swoje maksimum (4,0-8,0). Również separacja koron dębów ze względu na reflektancję w kanale podczerwonym jest w tym okresie najwyraźniejsza (korelacja wskaźnika *D* z poziomem defoliacji jest tu bardzo wysoka - ok. -90%). Późniejsze miesiące (sierpień i wrzesień) charakteryzują się już wyraźnie niższymi wartościami wskaźnika (2,0-4,0) i większą trudnością z zastosowaniem opisaną tu metody (korelacje spadają do ok. -70%).

Ze względu na wrażliwość kanału optycznego 0,73  $\mu\text{m}$  na inne czynniki związane z ogólnie pojętą zdrowotnością biomasy (parametrami biofizycznymi), np. wskaźnikiem LAI, nawodnieniem liści, koncentracją chlorofilu [14], ważne było ograniczenie wpływu reflektancji podszycu poprzez eliminację zacienionego terenu, co w znacznym stopniu się powiodło przez użycie metody histogramowej w kanale 0,64  $\mu\text{m}$ . Dzięki temu zabiegowi autorzy mogą być pewni, że zaobserwowana zmienność reflektancji w bliskiej podczerwieni w stosunku do kanału czerwonego obrazuje kondycję poszczególnych drzew, a nie kształt koron dębów i możliwy wpływ reflektancji podszycu. Możliwość zastosowania tej procedury stanowi o przewadze analiz spektralnych wykonywanych za pomocą zdjęć lotniczych nad analizami zdjęć satelitarnych. Chociaż obserwowane podczas nalotów w czerwcu i lipcu korelacje są bardzo silne, to obserwowane różnice w reflektancji pomiędzy koronami drzew o różnym stopniu defoliacji wyrażone w jednostkach radiometrycznych są niewielkie. Potencjalny wpływ reflektancji podszycu mógłby zakłócić obserwację opisaną tu zależności utrudniając lub nawet uniemożliwiając jej zastosowanie w analizie zdjęć niskorozdzielczych.

## Wnioski

Zastosowanie wskaźnika opartego na porównaniu reflektancji korony drzewa w kanałach optycznych leżących w prze-

strzeni sygnatury spektralnej bardzo blisko obszaru „red edge” dało możliwość oszacowania defoliacji u poszczególnych osobników. Zastosowane w nalotach nad drzewostanami dębowymi kanały optyczne 0,64 i 0,73  $\mu\text{m}$  powinny być każdorazowo dobierane na podstawie analizy sygnatury spektralnej reflektancji danego gatunku występującego na badanym obszarze. W celu oszacowania stopnia defoliacji należy wykonywać naloty fotogrametryczne w miesiącach, w których zawartość chlorofilu i wody w liściach zapewnia ich wysoką reflektancję w kanale bliskiej podczerwieni. Wysokie wartości radiometryczne ułatwiają kategoryzację poszczególnych koron drzew w zależności od stopnia defoliacji. W ramach nalotów w roku 2015 dwa miesiące na przełomie wiosny i lata odpowiadały tym warunkom, jednak otwartą pozostaje kwestia czy dość słaby wynik z miesięcy późniejszych spowodowany był suszą (sierpień 2015), czy występuje on w każdym cyklu wegetacyjnym.

Prostota formuły opracowanego tu wskaźnika i kalibracji radiometrycznej pozwala na zaimplementowanie go na autonomicznych platformach wielosensorowych typu QUERCUS.6 przeznaczonych do monitoringu środowiska. Możliwość zastosowania go wprost do danych satelitarnych pozostaje ze względu na inną rozdzielczość przestrzenną i spektralną nierozstrzygniętą kwestią i wymaga dalszych badań.

## Podziękowania

Autorzy składają podziękowania wszystkim osobom, dzięki którym możliwe było pozyskanie zdjęć wielospektralnych obrazujących powierzchnie badawcze projektu HESOFF, a w szczególności mgr inż. pil. Konradowi Wodzińskiemu, mgr inż. Tomaszowi Kornilukowi, mgr inż. Annie Mazur, inż. Karolowi Mrowcowi oraz Konradowi Mrukowi z Zakładu Teledetekcji Instytutu Lotnictwa. Pragniemy również złożyć serdeczne podziękowania panu Krzysztofowi Wypychowi, który z dużą zręcznością kierował pojazdem dostawczym po trudnych leśnych drogach podczas prac terenowych związanych z zakładaniem osnowy fotogrametrycznej.

Badanie zostało sfinansowane w ramach projektu LIFE11 ENV/PL/000459 - Ocena wpływu nawozów fosforowych na stan zdrowotny lasów zobrazowany za pomocą fotowoltaicznego SDL BSP współfinansowanego przez Komisję Europejską oraz Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej.

## Bibliografia

- [1] Arzani H., King G.W.: Application of remote sensing (Landsat TM data) for vegetation parameters measurement in western division of NSW. Int. Grassland Congr., 29 June - 5 July 2008, Hohhot, China.
- [2] De Beurs K.M., Townsent P.A.: Estimating the effect of gypsy moth defoliation using MODIS [w:] Remote Sensing of Environment, 2008, 112, 3983-3990.
- [3] Blaschke H.: Decline symptoms on roots of *Quercus robur*. European Journal of Forest Pathology, 1994, 24, 386-398.
- [4] Borowiecki I., Michalik A.: Klasyfikacja chmury punktów lotniczego skaningu laserowego z zastosowaniem


- programów Tiltan Tlid, Terrascan VRMesh. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 2012, 1 (3), 219-230.
- [5] Brasier C.M.: *Phytophthora cinnamomi* and oak decline in southern Europe. Environmental constraints including climate change. *Annales Des Sciences Forestières*, 1996, 53, 347-358.
- [6] Greenberg J.A., Dobrowski S.Z., Ustin S.L.: Shadow allometry: estimating tree structural parameters using hyperspatial image analysis. *Remote Sensing of Environment*, 2005, (97), 15-25.
- [7] Han L., Rundquist D.: Comparison of NIR/RED ratio and first derivative of reflectance in estimating algal-chlorophyll concentration: A case study in a turbid reservoir. *Remote Sensing of Environment*, 1997, 62, 253-261.
- [8] Jachimski J., Marmol U., Piechocka (Borowiec) N.: Stereometryczna weryfikacja DTM uzyskanego ze skaningu laserowego. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, vol. 14, Białobrzegi - Warszawa 2004.
- [9] Jordan C.F.: Derivation of leaf-area index from quality of light on the forest floor. *Ecology*, 1969, 50, 663-666.
- [10] Kurczyński Z.: *Fotogrametria*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2014.
- [11] Jung T., Blaschke H., Oßwald W.: Involvement of soilborne *Phytophthora* species in Central European oak decline and the effect of site factors on the disease. *Plant Pathology*, 2000, 49, 706-718.
- [12] Oszako T.: Przyczyny masowego zamierania drzewostanów dębowych. *Sylwan*, 2007, 6, 62-72.
- [13] Phua, M.-H., Ling, Z.-Y., Wong W., Ahmad B., Besar N.A. et al.: Shadow Allometry for Mapping Biomass of Tropical Forest in Northern Borneo. [w:] *Proceedings of 34th Asian Conference on Remote Sensing*. Asian Association on Remote Sensing, 2013, 1624-1629.
- [14] Prasad S., Thenkabail, John G. Lyon, Alfredo Huete: *Hyperspectral Remote Sensing of Vegetation*, 2011, 294.
- [15] Rullan-Silva C. et al.: Remote monitoring of defoliation by the beech leaf-mining weevil *Rhynchaenus fagi* in northern Spain [w:] *Forest Ecology and Management*, 2015, 347, 200-208.
- [16] Shahtahmassebi A., Ning Y., Ke W., Moore N., Zhangquan S.: Review of Shadow Detection and De-shadowing Methods [w:] *Remote sensing*, Springer, Chin. Geogra. Sci., 2013, Vol. 23.
- [17] Shi G.: Defoliation in cottonwood plantations utilizing remote sensing and geostatistical techniques. Mississippi State University, 2003.
- [18] Szewczyk W., Czeryba Z.: Ocena zdrowotności dębu na podstawie stopnia ubytku aparatu asymilacyjnego wybranych drzewostanów dębowych Nadleśnictwa Wołów. *Sylwan*, 2010, 154 (2), 100-106.
- [19] Wolter, P.T., Townsend P.A., Kingdon C.C., Sturtevant B.R.: Remote sensing of the distribution and abundance of host species for spruce budworm in northern Minnesota and Ontario. *Remote Sensing of Environment*, 2008, (112), 3971-3982.

## METHODOLOGY FOR ESTIMATING DEFOLIATION OF *QUERCUS ROBUR* L. ON THE BASIS OF REFLECTANCE ANALYSIS IN THE RANGE OF 0.64-0.73 $\mu\text{m}$

### Summary

The assessment of tree crown defoliation is a useful indicator of the condition and viability of trees. As part of the HESOFF project, an attempt was made to develop a methodology for estimating defoliation of oak tree stands (*Quercus robur*) using multi-spectral aerial photographs acquired with the six-channel QUERCUS.6 Multisensor Platform. During the vegetation cycle (March-September 2015) aerial imaging of forests at the Krotoszyńska Plate was made (the visible range of electromagnetic radiation and near infrared). In the studied stands, the defoliation level was determined using traditional methods. The Digital Elevation Model (DEM) of the land cover was made on the basis of the photograph and next an unshaded part of the oaks crown was selected. For 49 trees with a known level of defoliation, a PCA analysis of reflectance was performed taking into account the adequately illuminated part of crowns, the level of defoliation measured in situ and DEM. Analysis showed a strong negative correlation between the level of defoliation and a reflectance determined in optical channel 0.73  $\mu\text{m}$ . On the basis of this relationship, a method for estimating defoliation by means of aerial photographs was proposed.

**Key words:** defoliation, remote sensing, red edge, *Phytophthora*, PCA



ISBN 978-83-927505-0-5

## NAPĘDY HYDROSTATYCZNE W MASZYNACH ROLNICZYCH

Książka adresowana jest do studentów uczelni rolniczych oraz użytkowników maszyn rolniczych. Zawiera wybrane zagadnienia z mechaniki płynów i właściwości cieczy roboczych, opis budowy oraz działania poszczególnych maszyn hydraulicznych. Ponadto przedstawia przykładowe urządzenia hydrauliczne w wybranych maszynach rolniczych, a także diagnostykę układów hydraulicznych.

Wydawca: Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych  
60-963 Poznań, ul. Starołęcka 31  
tel. +48 61 87 12 200; fax +48 61 879 32 62;  
e-mail: office@pimr.poznan.pl; Internet: http://www.pimr.poznan.pl