

# Wpływ typu podszytu na teledetekcyjny pomiar defoliacji *Quercus robur* L. w zakresie 460–820 nm

Jan Kotlarz, Mariusz Kacprzak, Karol Rotchimmel

Instytut Lotnictwa, Zakład Teledetekcji, Centrum Technologii Kosmicznych, Al. Krakowska 110/112, 02-256 Warszawa

Miłosz Tkaczyk

Instytut Badawczy Leśnictwa, Zakład Ochrony Lasu, Braci Leśnej 3, 05-090 Sękocin Stary

**Streszczenie:** Jednym z objawów zamierania drzewostanów dębowych w Europie jest wysoka defoliacja obserwowana u drzew o słabej zdrowotności. Na potrzeby corocznego monitoringu dotkniętych patogenem *Phytophthora* powierzchni badawczych projektu HESOFF w Zakładzie Teledetekcji Instytutu Lotnictwa podjęto próbę wytworzenia metodyki oceny defoliacji za pomocą lotniczych zdjęć wielospektralnych. W tym celu w lipcu 2015 r. za pomocą Platformy Wielosensorowej QUERCUS.6 wykonano zdjęcia lotnicze badanego kompleksu leśnego (zakres 0,46–0,82  $\mu\text{m}$ ). Na podstawie zdjęć wykonano pomiar refleksyjności dla każdego z badanych dębów oraz porównano pozyskane w ten sposób dane radiometryczne z ocenionym metodą tradycyjną poziomem defoliacji. Na podstawie uzyskanych korelacji wykazano, że pomiar defoliacji jest możliwy przy zastosowaniu kanałów optycznych: 0,46–0,52  $\mu\text{m}$  oraz 0,67–0,82  $\mu\text{m}$ . Wykazano ponadto, że do poprawnego pomiaru defoliacji zaproponowaną w tym artykule metodą, konieczne jest uwzględnienie typu podszytu, który ma decydujący wpływ na obserwowaną refleksyjność.

**Słowa kluczowe:** teledetekcja lasu, zdrowotność, zdjęcia wielospektralne, bliska podczerwień, UAV, defoliacja

## 1. Wprowadzenie

Defoliacja jest powszechnie rozumiana jako redukcja powierzchni asymilacyjnej drzewa w stosunku do wzorcowego drzewa o pełnym ulistnieniu i porównywalnych warunkach środowiskowych. Szerokość podstawowego przedziału oceny defoliacji metodami tradycyjnymi wynosi 5%, a zgodność jego wizualnej oceny przez niezależnych obserwatorów jest niewielka. Zastąpienie wizualnej oceny defoliacji przez technikę opartą na wykorzystaniu metod teledetekcyjnych jest zatem zasadne z dwóch powodów: możliwości zautomatyzowania pomiaru defoliacji oraz ujednolicenia sposobu jej oceny [23]. W ramach prowadzonego w Instytucie Lotnictwa oraz Instytucie Badawczym Leśnictwa projektu HESOFF defoliacja jest stosowana jako jeden z parametrów oceny zdrowotności porażonych patogenem *Phytophthora* dębów szypułkowych [3, 17]. Pozytywna korelacja między defoliacją a obecnością tego

patogenu była wielokrotnie już wykazywana [4], zatem mając na celu wypracowanie metodyki zdalnego oznaczania zdrowotności należy uwzględnić w niej teledetekcyjną ocenę defoliacji.

Do chwili obecnej w zdalnej ocenie defoliacji stosowano różnorodne metody. Jedną z najpowszechniej stosowanych jest analiza regresji indeksu LAI (ang. *Leaf Area Index*). W celu analizy tego współczynnika używane są technologie skaningu laserowego ALS (ang. *Airborne Laser Scanning*) [20] i analiza zdjęć satelitarnych, np. MODIS [19]. Metodę opartą na fizycznym modelowaniu refleksyjności poszczególnych komponentów lasu w połączeniu z zastosowaniem sieci neuronowych stosuje się do pomiaru generalnego stopnia defoliacji całych kompleksów leśnych Stanów Zjednoczonych [24]. Do pomiaru defoliacji na poziomie subpikselowym próbuje się również stosować analizę czynnikową zdjęć wielospektralnych wykonanych przez instrument ETM zamontowany na satelicie LANDSAT-7 [2]. Przytoczone metody stosuje się przede wszystkim do danych satelitarnych o dość niskiej rozdzielczości przestrzennej. Wykonywanie analiz w oparciu o piksel terenowy rzędu 250–1000 m (MODIS) lub chociażby 30 m (LANDSAT-8) uniemożliwia analizę defoliacji u poszczególnych osobników (przeciętna średnica korony dębu na powierzchni badawczej projektu HESOFF w Krotoszynie wynosi około 6 m). Dlatego podczas prowadzonych badań wykorzystano zdjęcia lotnicze. Głównym celem przeprowadzonej pracy jest próba oceny defoliacji na podstawie danych zebranych z powietrza. Zdjęcia wielospektralne o rozdzielczości przestrzennej około 25 cm zostały użyte do wypracowania metody badawczej. Istotne jest

### Autor korespondujący:

Jan Kotlarz, jan.kotlarz@ilot.edu.pl

### Artykuł recenzowany

nadesłany 19.12.2017 r., przyjęty do druku 02.02.2018 r.



Zezwala się na korzystanie z artykułu na warunkach licencji Creative Commons Uznanie autorstwa 3.0

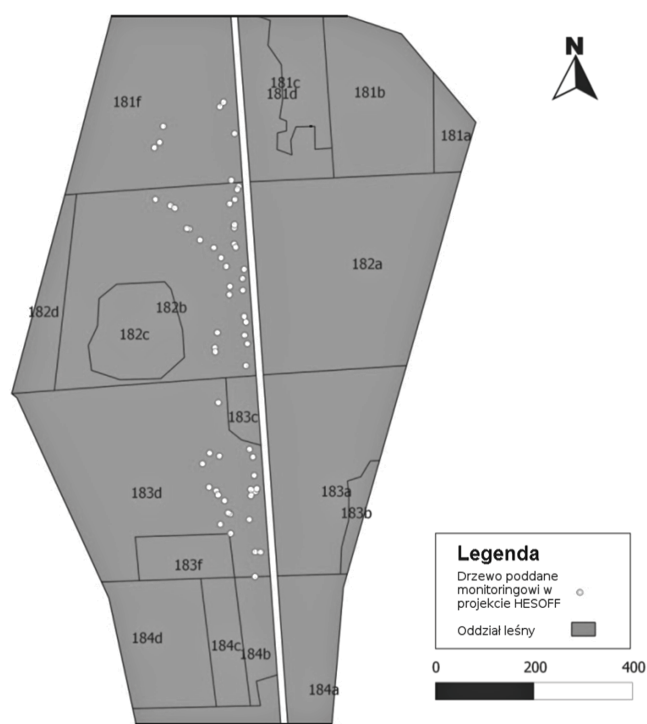
to, że w tego typu pracach należy uwzględnić wpływ roślinności znajdującej się bezpośrednio pod koroną drzewa.

Niniejsza publikacja prezentuje wpływ typu podszytu na wartości radiometryczne pikseli reprezentujących drzewo na zdjęciu wielospektralnym. Zależność tę obserwowano już w wielu pracach badawczych [15, 18, 10], a w zaproponowanych modelach separacji wpływu podszytu na refleksję koron drzew i pośrednio na oszacowanie zdrowotności drzewostanów, defoliacji itp. może być uwzględniona we współczesnych badaniach nad nowoczesnymi metodykami [7] pomiaru zdrowotności poszczególnych drzew. Celem projektu HESOFF jest wypracowanie metodyki oceny zdrowotności drzewostanów dębowych i wpływu nawozów fosforowych na zdrowotność. W celu oszacowania zdrowotności dębów w projekcie wykonano pomiar defoliacji metodami tradycyjnymi (ocena wizualna) i za pomocą zdjęć lotniczych. Ponieważ badane kompleksy leśne charakteryzują się zróżnicowanym typem podszytu [12] należało podjąć próbę uniezależnienia wypracowanej wcześniej metodyki oszacowania defoliacji na podstawie zdjęć lotniczych [9] od tego parametru środowiskowego. Wyniki pracy przedstawia niniejsza publikacja.

## 2. Metoda badawcza

W celu wypracowania własnej metody oceny defoliacji na podstawie wielospektralnych zdjęć lotniczych, w lipcu 2015 r. pozyskane zostały zdjęcia leśnej powierzchni badawczej w Nadleśnictwie Krotoszyn, w Leśnictwie Jelonek, w oddziałach: 181, 182 i 183. Powierzchnia badawcza porośnięta jest przez ponad stuletnie dęby. Na podstawie opisu taksacyjnego lasu przeprowadzono analizę składu gatunkowego poszczególnych pięter drzewostanu. Według danych zamieszczonych w dokumencie ustalono, że w oddziale 181 (rys. 1) gatunkiem dominującym był dąb szypułkowy w wieku 114 lat. W podszytce występowały takie gatunki jak: jarząb pospolity, kruszyna pospolita, leszczyna pospolita oraz grab pospolity, który występował na 90% powierzchni wydzielenia. W oddziale 182 gatunkiem dominującym również był dąb szypułkowy w wieku około 124 lat. W podszytce gatunkiem dominującym był grab pospolity zajmujący około 90% powierzchni całego wydzielenia oraz domieszkowo takie gatunki jak: jarząb pospolity i kruszyna pospolita. Na rysunku 1 zaprezentowano podział powierzchni badawczej projektu HESOFF na oddziały i pododdziały. Punktami oznaczono drzewa poddane monitoringowi.

W ostatnim z oddziałów, w którym prowadzono badania (oddział 183d), gatunkiem dominującym był dąb szypułkowy w wieku 118 lat. Podszyt drzewostanu zdominowany był przez jarząb pospolity, który w tym pododdziale zajmował blisko 90% powierzchni, w oddziale występowała również miejscami kru-



Rys. 1. Powierzchnia badawcza projektu HESOFF w nadleśnictwie Krotoszyn

Fig. 1. HESOFF Project research area in Krotoszyn forest district

szyna pospolita. Do zobrazowania powierzchni badawczej użyta została Platforma Wielosensorowa QUERCUS.6 [5] wyposażona w filtry optyczne 0,46  $\mu\text{m}$ , 0,52  $\mu\text{m}$ , 0,67  $\mu\text{m}$ , 0,73  $\mu\text{m}$ , 0,82  $\mu\text{m}$  oraz 0,93  $\mu\text{m}$ . Nalot fotogrametryczny wykonano na pułapie 800 m z pikselem terenowym 25 cm. Z pozyskanych wielowarstwowych zdjęć wytworzono ortofotomapę cyfrową [8]. Na powierzchni badawczej wyznaczono sześćdziesiąt dębów, które przed realizacją nalotu poddano wizualnej, tradycyjnej ocenie defoliacji. Każdy z tych dębów oznaczono na ortofotomapie, a następnie przyporządkowano mu wartości odpowiadające średniej refleksji i odchylenia standardowego refleksji w każdym kanale optycznym. Dla każdego z dębów wartości refleksji i jej odchylenia porównano z wartością wizualnej oceny defoliacji. Obliczono także wskaźniki biomasy NDVI oraz zacielenia Green Index. W kolejnym etapie analizy danych powtórzono tę procedurę osobno dla dębów znajdujących się w oddziałach o różnym typie podszytu: (a) z podszytem o 90% udziale grabu (*Carpinus* sp.) obraz (b) z podszytem o 90%

Tabela 1. Korelacja wartości defoliacji z refleksją oraz jej odchyleniem standardowym

Table 1. Defoliation with reflectance intensity and standard deviation correlation values

Kanał optyczny [ $\mu\text{m}$ ]	Korelacja dla całej powierzchni badawczej poziomu defoliacji zmierzonej <i>in situ</i> z		Korelacja dla oddziałów o podszytce z 90% udziałem grabu poziomu defoliacji zmierzonej <i>in situ</i> z		Korelacja dla oddziałów o podszytce z 90% udziałem jarzębu poziomu defoliacji zmierzonej <i>in situ</i> z	
	refleksją	odchyleniem refleksji	refleksją	odchyleniem refleksji	refleksją	odchylenie refleksji
0,46	0,2403	-0,1313	0,4854	0,1963	0,1804	-0,8088
0,52	0,3247	-0,2573	0,5834	-0,980	0,1686	-0,5700
0,67	0,3405	-0,1369	0,5908	0,1035	-0,4188	-0,6637
0,73	0,1245	-0,3495	0,4897	-0,2591	-0,4108	-0,6827
0,82	0,1307	-0,2972	0,5811	-0,2067	-0,3803	-0,6445

udziale jarzębu (*Sorbus* sp.). Uwzględniając parametr związany z typem podszytu stworzono prosty wskaźnik teledetekcyjny defoliacji.

### 3. Wyniki

Poziom korelacji Pearsona między zmierzonym metodą tradycyjną stopniem defoliacji a średnią refleksancją (ze zdjęć wykonanych kamerą QUERCUS.6) i jej odchyleniem standardowym przedstawiono w tabeli 1.

Dla całej powierzchni badawczej oraz dla każdego z dwóch typów działów obliczono wskaźniki biomasy NDVI

$$NDVI = \frac{0,73\mu m - 0,67\mu m}{0,73\mu m + 0,67\mu m} \quad (1)$$

oraz wskaźnik zacienienia Green Index

$$GI = \frac{0,52\mu m - 0,46\mu m}{0,52\mu m + 0,46\mu m} \quad (2)$$

Wyniki korelacji Pearsona tych wskaźników z defoliacją przedstawiono w tabeli 2.

**Tabela 2. Korelacja Pearsona wartości wskaźników teledetekcyjnych NDVI i Green Index ze wskaźnikiem defoliacji ocenionym wizualnie**  
Table 2. Pearson Correlation between remote sensing indices (NDVI, Green Index) and visual defoliation index

Wskaźnik	Typ podszytu		
	(a) + (b)	(a)	(b)
NDVI [-]	-0,2178	-0,2034	-0,2336
GI [-]	0,1081	-0,626	0,5331

### 4. Dyskusja

Na wstępie należy zwrócić uwagę na zupełnie różne zachowanie wskaźników NDVI oraz GI w obrębie oddziałów o różnym typie podszytu. Wskaźnik biomasy NDVI wykazuje niewielką ujemną korelację ze stopniem defoliacji, czego należało się spodziewać [16]. Należy jednak zwrócić uwagę na dodatnią korelację wskaźnika zacienienia jedynie w oddziale o dominującym udziale jarzęba w podszycie. W naszej ocenie jest to spowodowane wydatną różnicą w wysokości podszytu. W obrębie powierzchni badawczej wysokość dębów wynosi około 29 m, tymczasem średnia wysokość grabu wynosi około 15–20 m, natomiast jarzęba ok. 2–3 m. Poziom zacienienia dla podszytu o przewadze jarzęba powinien zatem rosnać wraz z defoliacją koron dębów. Dla oddziału charakteryzującego się dużym udziałem grabu w podszycie obserwujemy średnią dodatnią korelację refleksancji wraz z defoliacją we wszystkich kanałach optycznych (od 0,4854 do 0,5908). Statystycznie średnia refleksancja w całym paśmie roślinie o 2,94% wraz ze wzrostem defoliacji korony dębu o każde 5%. W naszej ocenie jest to spowodowane wizualnym wypełnianiem zdjęcia korony dębu znajdującymi się nieco niżej liśćmi grabu o zdecydowanie wyższej refleksancji. Dla oceny defoliacji korony dębu przy wysokim podszycie niezwykle ważne okazują się najbardziej charakterystyczne różnice w sygnaturach spektralnych refleksancji dębów i podszytu. Dla dębów i grabów tymi miejscami są kanały 0,46  $\mu$ m i 0,67  $\mu$ m [1]. Zaobserwowane odchylenia standardowe refleksancji w tych dwóch długościach fali światła są rzeczywi-

ście największe z całego przedziału światła widzialnego i NIR. Przypuszczamy, że wraz z rosnącym zróżnicowaniem sygnatur koron badanych drzew oraz podszytu korelacja między odchyleniem standardowym a defoliacją powinna być wyższa, jednak zagadnienie to powinno stać się przedmiotem dalszych badań.

Dla oddziału charakteryzującego się dużym udziałem jarzęba w podszycie obserwujemy ujemną korelację refleksancji i defoliacji. Jest to szczególnie widoczne w podczerwieni i czerwonym kanale optycznym (od -0,3803 do -0,4188). W naszej ocenie jest to spowodowane dużą różnicą w wysokości dębów i jarzębów (około 27 m). Dla kanałów optycznych charakterystycznych dla rozpraszania Rayleigha w atmosferze ziemskiej refleksancja w cieniu jest skorelowana nieznacznie dodatnio. Należy zwrócić uwagę na to, że zgodnie z modelem teoretycznym [14] rozpraszanie to jest proporcjonalne do czwartej potęgi odwrotności długości fali światła, zatem dla kanału niebieskiego 0,46  $\mu$ m będzie ono występowało z ponad dziesięciokrotnie, a dla zielonego 0,52  $\mu$ m – z ponad sześciokrotnie większym natężeniem niż dla kanałów czerwonego i podczerwonych, co rzeczywiście obserwujemy podczas analizy danych.

### 5. Podsumowanie

Zebrałe dane teledetekcyjne i pomiary defoliacji dębów w terenie pozwalają na wypracowanie wstępnej metodyki szacowania defoliacji na podstawie zdjęć lotniczych. Metoda ta musi jednak uwzględniać typ podszytu, a szczególnie jego wysokość w odniesieniu do wysokości drzew górnego piętra, których defoliację chcemy oszacować. Dla typu podszytu wysokiego decydująca będzie zatem sygnatura spektralna refleksancji gatunku dominującego w podszycie (tutaj grabu). Stosując tę obserwację do naszej powierzchni badawczej możemy dla każdego z dębów obliczyć następujący wskaźnik skorelowany z poziomem defoliacji:

$$D_{-RS_{PW}} = \frac{D^2(0,46\mu m) - D^2(0,82\mu m)}{D^2(0,46\mu m) + D^2(0,82\mu m)} \quad (3)$$

Dla typu podszytu niskiego wskaźnik skorelowany z poziomem defoliacji opierać się będzie na wzroście refleksancji w paśmie niebieskim (0,46–0,52  $\mu$ m) oraz spadku refleksancji w paśmie czerwonym i bliskiej podczerwieni (0,67–0,82  $\mu$ m):

$$D_{-RS_{PN}} = \frac{I(0,46\mu m) - I(0,52\mu m)}{I(0,46\mu m) + I(0,52\mu m)} \quad (4)$$

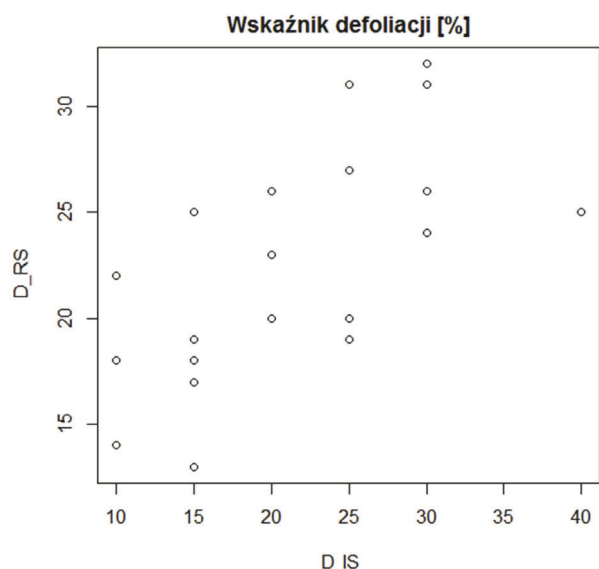
Korelacje między tak wyrażonymi wskaźnikami teledetekcyjnymi defoliacji a pomiarami tradycyjnymi wynoszą: dla podszytu wysokiego 0,6318, dla podszytu niskiego 0,7484. Wartość defoliacji dla każdego z monitorowanych dębów [21, 6] na powierzchni badawczej w Nadleśnictwie Krotoszyn została przedstawiona na rysunku 3:

- wartość odpowiadająca pomiarom terenowym (zaznaczona przez barwę okręgu wewnętrznego),
- wartość otrzymana za pomocą wypracowanej metodyki teledetekcyjnej (zaznaczona przez barwę okręgu zewnętrznego).

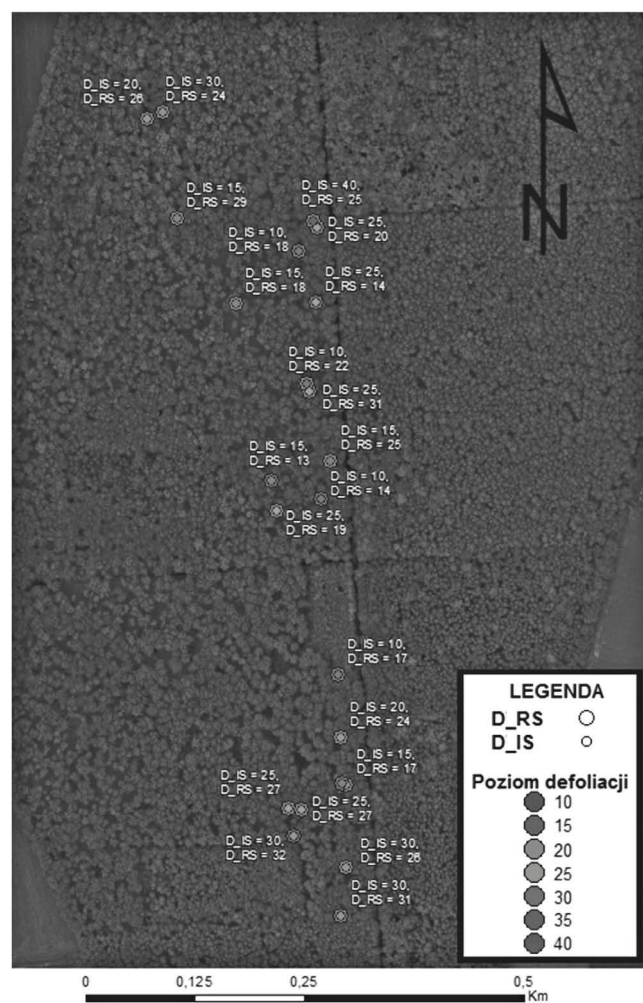
Wartość wskaźnika defoliacji zmierzona teledetekcyjnie na północ od widocznej w środkowej części zdjęcia szkółki leśnej wynika z zastosowania wzoru (3) dla terenu o wysokim podszycie. Wartość defoliacji dla południowej części uzyskano dzięki zastosowaniu wzoru (4) dla terenu o niskim podszycie.

Korelację obu wartości defoliacji zmierzonej metodami teledetekcyjnymi i metodami tradycyjnymi dla wybranych drzew przedstawiono na rysunku 3. Na osi pionowej zaznaczono poziom defoliacji zmierzony metodami teledetekcyjnymi, na osi pozi-





Rys. 2. Wskaźniki defoliacji na powierzchni badawczej projektu HESOFF zmierzona in situ ( $D_{IS}$ ) oraz metodą teledetekcyjną ( $D_{RS}$ )  
 Fig. 2. Remote sensing ( $D_{RS}$ ) and visual ( $D_{IS}$ ) defoliation indices on HESOFF research area



Rys. 3. Porównanie wskaźników defoliacji zmierzonych metodami tradycyjnymi i teledetekcyjnymi  
 Fig. 3. Remote sensing vs visual defoliation indices comparison

mej wartość defoliacji zmierzoną metodami tradycyjnymi, na podstawie wizji terenowej.

W naszej ocenie wyniki przeprowadzonych prac są bardzo obiecujące i mogą być wykorzystywane w projektach oceniających zdrowotność drzewostanów, m.in. w których zidentyfikowano obecność patogenów z rodzaju *Phytophthora* [22, 17]. Do dalszego rozwoju przedstawionej tu metody proponujemy stworzyć model wysokościowy badanego kompleksu leśnego oraz jego model fizjologiczny w kontekście modelowania refleksyjności w poszczególnych kanałach optycznych. Uzyskane wyniki planujemy wykorzystać jako kolejny parametr do zdalnego badania zdrowotności drzew. Otwarte pozostaje pytanie, na ile wypracowana metodyka może zostać zastosowana w analizach teledetekcyjnych drzewostanów na podstawie zobrażeń innych niż ortofotomapy [11].

## Bibliografia

1. Abbasi M., Schaepman M.E., Darvishsefat A., Bartholomew H.M., Marvi Mohajer M.R., Sobhani H., *Spectroradiometric measurements of tree species in the Caspian forests of Iran*. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B7. Beijing 2008, 291–295.
2. Babst F., Esper J., Parlow E., *Landsat TM/ETM+ and tree-ring based assessment of spatiotemporal patterns of the autumnal moth (*Epirrita autumnata*) in northernmost Fennoscandia*. "Remote Sensing of Environment", Vol. 114, Iss. 3, 2010, 637–646, DOI: 10.1016/j.rse.2009.11.005.
3. Belbahri L., Moralejo E., Calmin G., Oszaiko T., García J.A., Descals E., Lefort F., *Phytophthora polonica, a new species isolated from declining *Alnus glutinosa* stands in Poland*, "FEMS Microbiology Letters", 261(2), 2006, 165–174, DOI: 10.1111/j.1574-6968.2006.00349.x.
4. Colijn Ch.W., Cohen M., Johnston S., Dillon W., Rank N., *Factors influencing *Phytophthora ramorum* infectivity on *Umbellularia californica* and testing of a defoliation-based control method*, Diss. Department of Biology, Sonoma State University, 2012.
5. Czapski P., Kacprzyk M., Korniluk T., Kotlarz J., Kubiak K., Mazur A., Mrowiec K., Oszaiko T., Pieniążek J., Pośpiechczyk A., Tkaczyk M., Wodziński K., Zalewska N., *Budowa i zastosowanie platformy wielosensorowej w badaniu wybranych parametrów środowiska*. Prace Instytutu Lotnictwa, Nr 1 (234) March 2014 (2014): 126–142.
6. Dąbrowski P.A., Kalaji H., Keča N., Horaczek T., Oszaiko T., *The influence of phosphite treatments on oak leaves and damage caused by powdery mildew *Erysiphe alphitoides**, "Folia Forestalia Polonica", Vol. 59, Iss. 3, 2017, 239–245, DOI: 10.1515/ffp-2017-0025.
7. Fotowicz P., *Modyfikacja sposobu obliczania niepewności pomiaru*, "Pomiary Automatyka Robotyka", R. 20, Nr 3, 2016, 29–32, DOI: 10.14313/PAR\_221/29.
8. Kacprzak M., Rotchimmel K., *Tworzenie produktów fotogrametrycznych z wykorzystaniem zdjęć wykonanych blokiem kamer niemetrycznych*, "Prace Instytutu Lotnictwa", T. 243, Nr 2, 2016, 120–129, DOI: 10.5604/05096669.1205266.
9. Kacprzak M., Kotlarz J., Kubiak K., Rotchimmel K., Tkaczyk M., *Metodyka oszacowania defoliacji *Quercus Robur* L. na podstawie analizy refleksyjności w zakresie 0,64  $\mu\text{m}$  – 0,73  $\mu\text{m}$* . "Technika rolnicza, ogrodnicza, leśna", Nr 1, 2018.
10. Kotlarz J., Kubiak K., Kacprzak M., Czapski P., *Estimation of tree species diversity of forest stands based on their*

- spectral reflectance*. "SYLWAN", Vol. 160, Nr 12, 2016, 1036–1045.
11. Kotlarz J., Kacprzak M., *Algorytm automatycznego oszacowania zróżnicowania gatunkowego drzewostanu z wykorzystaniem zdjęć RGB koron drzew*. „Pomiary Automatyka Robotyka”, R. 21, Nr 1, 2017, 63–70, DOI: 10.14313/PAR\_223/63.
  12. Kotlarz J., Nasiłowska S., Rotchimmel K., Kubiak K., *Species Diversity of Oak Stands and Its Significance for Drought Resistance*. "Preprints", 2018, 2018010247, DOI: 10.20944/preprints201801.0247.v1.
  13. Kubiak K., Żółciak A., Damszel M., Lech P., Sierota Z., *Armillaria Pathogenesis under Climate Changes*. "Forests", Vol. 8, No. 4, 2017, DOI: 10.3390/f8040100.
  14. Meyer-Arendt J.R., *Wstęp do optyki*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, 1977.
  15. Miller J.R., White H.P., Chen J.M., Peddle D.R., McDermid G., Fournier R.A., LeDrew E. (1997). *Seasonal change in understory reflectance of boreal forests and influence on canopy vegetation indices*. "Journal of Geophysical Research: Atmospheres", Vol. 102, Iss. D24, 29475–29482, DOI: 10.1029/97JD02558.
  16. Olsson Per-Ola, Johan Lindström, Lars Eklundh. *Near real-time monitoring of insect induced defoliation in subalpine birch forests with MODIS derived NDVI*. "Remote Sensing of Environment", Vol. 181, 2016, 42–53, DOI: 10.1016/j.rse.2016.03.040.
  17. Oszako T., Olchowik J., Szaniawski A., Drozdowski S., Aleksandrowicz-Trzcińska M., *Emerging forest disease in Europe and North America*. "Folia Forestalia Polonica", Vol. 59, Iss. 2, 2017, 159–162, DOI: 10.1515/ffp-2017-0016.
  18. Rautiainen M., Möttöus M., Heiskanen J., Akujärvi A., Majasalmi T., Stenberg P., *Seasonal reflectance dynamics of common understory types in a northern European boreal forest*, "Remote Sensing of Environment", Vol. 115, Iss. 12, 2011, 3020–3028, DOI: 10.1016/j.rse.2011.06.005.
  19. Solberg S., Eklundh L., Gjertsen A.K., Johansson T., Joyce S., Lange H., Næsset E., Olsson H., Pang Y., Solberg A., *Testing remote sensing techniques for monitoring large scale insect defoliation*. Proc ForestSat 2007, Int Conf on Hyperspectral & Advanced sensors, Montpellier (France), November 2007.
  20. Solberg S., Brunner A., Hanssen K.H., Lange H., Næsset E., Rautiainen M., Stenberg P., *Mapping LAI in a Norway spruce forest using airborne laser scanning*. "Remote Sensing of Environment", Vol. 113, Iss. 11, 2009, 2317–2327, DOI: 10.1016/j.rse.2009.06.010.
  21. Tkaczyk, M., Kubiak, K. A., Sawicki, J., Nowakowska, J. A., & Oszako, T. (2016). Wykorzystanie związków fosforowych w leśnictwie. *Leśne Prace Badawcze*, 77(1).
  22. Tkaczyk M., Nowakowska J.A., Oszako T., *Phytophthora species isolated from ash stands in Białowieża Forest nature reserve*. "Forest Pathology", Vol. 46, Iss. 6, 2016, 660–662, DOI: 10.1111/efp.12295.
  23. Wawrzoniak J., Pluciak M., Małachowska J. *Statystyczna ocena zgodności szacunków defoliacji drzew próbnych na stałych powierzchniach obserwacyjnych monitoringu lasu*. „Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa”, Ser. A, Vol. 867, 1999, 19–38.
  24. Wang Quanzeng, et al., *Condensed Monte Carlo modeling of reflectance from biological tissue with a single illumination-detection fiber*, "IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics", Vol. 16, Iss. 3, 2010, 627–634, DOI: 10.1109/JSTQE.2009.2029546.

## The impact of the type of undergrowth on the remote sensing defoliation measurement of *Quercus robur* L. in the range: 460–820 nm

**Abstract:** One of the symptoms of dieback of oak stands in Europe is high defoliation, observed in trees with poor health. For the purposes of annual monitoring (in research project HESOFF) of the research area affected by the pathogen *Phytophthora*, in the Remote Sensing Department of Institute of Aviation was made attempt to develop a proper methodology for defoliation evaluation with multispectral aerial images use. For this purpose in July 2015 with the use of the Multisensory Platform QUERCUS.6 aerial photos of the test forest complex were made (range: 0.46–0.82  $\mu\text{m}$ ). Based on the photos, reflectance measurements for each of investigated oaks were made and acquired parameters have been compared with defoliation level obtained by conventional methods. Based on these correlation has been demonstrated that defoliation measurement is possible with use of optical channels: 0.46–0.52  $\mu\text{m}$  and 0.67–0.82  $\mu\text{m}$ . It was also shown that for correct defoliation measurement with proposed in this article methodology it is necessary to take into account the type of underbrush, which has a decisive influence on the observed reflectance.

**Keywords:** remote sensing of the forest, health status, multispectral images, near infrared, UAV, defoliation

## Jan Kotlarz

jan.kotlarz@ilot.edu.pl

Studjuje astronomię na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego. Od 2012 roku pracuje w Zakładzie Teledetekcji Instytutu Lotnictwa. W 2009 r. został nominowany do nagrody Travelery przez National Geographic w kategorii naukowe osiągnięcie roku za stworzenie algorytmu generującego trójwymiarowe modele powierzchni Marsa na podstawie analiz topologicznych. Od 2013 r. kieruje projektem HESOFF.



## mgr inż. Mariusz Kacprzak

Mariusz.Kacprzak@ilot.edu.pl

Kierownik Zakładu Teledetekcji w Instytucie Lotnictwa, nauczyciel fizyki, specjalista w zakresie fotogrametrii i teledetekcji. Od ponad ośmiu lat zajmuje się operacyjnym wykorzystaniem Zdalnie Sterowanych Statków Powietrznych (ang. RPAS) w Polsce. W 2017 r. otrzymał główną nagrodę w ramach współorganizowanego przez Komisję Europejską międzynarodowego konkursu Copernicus Master na najlepsze rozwiązania z zakresu teledetekcji satelitarnej.



## mgr inż. Karol Rotchimmell

karol.rotchimmell@ilot.edu.pl

Absolwent Wydziału Geodezji i Kartografii Politechniki Warszawskiej. Od 2014 r. pracuje w Zakładzie Teledetekcji Instytutu Lotnictwa. Zajmuje się fotogrametrią i teledetekcją, odpowiedzialny za przetwarzanie zdjęć lotniczych z kamer niemetrycznych w projekcie HESOFF. Jego zainteresowania naukowe dotyczą modelowania 3D i zaawansowanych metod wizualizacji.



## mgr inż. Miłosz Tkaczyk

m.tkaczyk@ibles.waw.pl

Absolwent Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie gdzie studiował na wydziale Leśnym. Od 2013 r. pracownik Instytutu Badawczego Leśnictwa (Zakład Ochrony Lasu), gdzie zajmuje się badaniami nad poprawą odporności drzew leśnych. Jego zainteresowania naukowe dotyczą patogenów glebowych (głównie z rodzaju Phytophthora).

