

**OCENA STANU ZDROWOTNEGO ŚWIERKA  
NA PODSTAWIE ANALIZY ZDJĘĆ WIELOSPEKTRALNYCH  
WYKONANYCH FOTOGRAFICZNYMI APARATAMI CYFROWYMI  
PRZENOSZONYMI PRZEZ BEZZAŁOGOWY STATEK LATAJĄCY**

**ASSESSMENT OF NORWAY SPRUCE HEALTH  
USING MULTISPECTRAL IMAGES  
ACQUIRED FROM UNMANNED AERIAL VEHICLE  
WITH NON-METRIC CAMERAS**

**Anna Zmarz<sup>1</sup>, Krzysztof Będkowski<sup>2</sup>, Stanisław Miścicki<sup>2</sup>, Wienczysław Plutecki<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Taxus SI Sp. z o.o., Warszawa

<sup>2</sup> Katedra Urządzania Lasu, Geomatyki i Ekonomiki Leśnictwa SGGW w Warszawie

SŁOWA KLUCZOWE: świerk, stan zdrowotny, zdjęcia wielospektralne, bezzałogowy statek latający

STRESZCZENIE: W pracy oceniono przydatność zdjęć w zakresie bliskiej podczerwieni. Zdjęcia wykonano zmodyfikowanymi aparatami cyfrowymi (Sigma DP2) zamontowanymi na bezzałogowym statku latającym AVI-1. Dla wybranego obiektu badawczego o pow. 284 ha, wykonano 930 zdjęć o rozdzielczości terenowej 0,15 m. Zdjęcia zostały przetworzone do postaci ortomozaiik w barwach naturalnych oraz zbliżonych do spektrostrefowych. W terenie wykonano obserwacje koron świerków rosnących w ok. 40-letnim, jednogatunkowym drzewostanie. Określono gęstość igliwia, jego kolor oraz inne symptomy świadczące o kondycji drzew. Te same drzewa zidentyfikowano na ortomozaiikach i poddano klasyfikacji, której wyniki porównano z danymi uzyskanymi w terenie. Ocenę stanu zdrowotnego świerka (*Picea bies*) na ortomozaiikach wykonano analizując udział barwy czerwonej związanej z różnymi objawami chorobowymi i uszkodzeń koron. Obserwacje wykonało niezależnie od siebie dwóch obserwatorów, każdy w dwóch seriach. Ocenę jednolitości rozpoznawania barw przez obserwatorów oparto na porównaniu uzyskanych wartości. Stwierdzono, że jest możliwe podzielenie obserwowanych drzew na kilka klas zdrowotności.

## **1. WSTĘP**

Metody fotogrametryczne od dawna były stosowane do oceny stan zdrowotnego drzew. Nabrały one szczególnego znaczenia w ostatnich dekadach ubiegłego wieku, gdy w Europie i innych krajach uprzemysłowionych zaobserwowano objawy masowego zamierania drzewostanów, głównie gatunków iglastych. Opracowano technologie inwentaryzacji stanu lasu, których metodyczną podstawą był dowiedziony empirycznie związek pomiędzy stanem drzew obserwowanym w terenie oraz ich barwą na zdjęciu lotniczym (Bychawski, Iracka, 1978; Bychawski, 1980).

Współcześnie analogowe zdjęcia spektrostrefowe są zastępowane kompozycjami barwnymi obrazów cyfrowych, z cyfrową analizą obrazu (Adamczyk i Będkowski 2006).

Od kilku lat rozwijane są za granicą (Eisenbeiss, 2008; Eugster, Nebiker, 2008; Everaerts, 2008, Nebiker *et al.*, 2008) oraz w kraju (Szczechowski, 2008; Jankowicz, 2010; Królikowski, 2011; Zmarz, 2011) systemy obrazowania za pomocą aparatów cyfrowych, przenoszonych przez bezzałogowe statki latające.

Bezzałogowe statki latające są atrakcyjnym środkiem pozyskiwania zobrazowań z uwagi na niskie koszty oraz znaczne skrócenie procesu technologicznego od zamówienia do uzyskania gotowego produktu. Pewnym mankamentem jest ograniczenie wielkości obszaru, jaki można objąć nalotem oraz wrażliwość statku na wiatr i inne czynniki atmosferyczne.

Statki bezzałogowe wyposażone w kamery rejestrujące bliską podczerwień są wykorzystywane m.in. dla potrzeb rolnictwa i leśnictwa (Sugiera *et al.*, 2005, Grenzörffer *et al.*, 2008; Berni *et al.*, 2009). W artykule przedstawiono wyniki doświadczeń mających na celu ocenę przydatności do oceny stanu zdrowotnego świerków (*Picea abies*) obrazów RGB oraz IR, uzyskanych za pomocą zmodyfikowanych aparatów cyfrowych zamontowanych na platformie statku bezzałogowego.

## 2. BEZZAŁOGOWY STATEK LATAJĄCY I PLAN LOTU

Zdjęcia wykonano za pomocą aparatów cyfrowych przenoszonych przez bezzałogowy statek latający AVI-1<sup>1</sup> (Taxus SI 2010, Zmarz 2011), który zaprojektowano specjalnie dla wykonywania lotów fotogrametrycznych. Jest to konstrukcja kompozytowa, o napędzie elektrycznym, rozpiętości skrzydeł 3.5 m. Statek sterowany jest autopilotem. W ciągu godzinowego lotu zdolny jest wykonać nalot na powierzchni 3÷4 km<sup>2</sup>. Udźwig AVI-1 pozwala na zamontowanie aparatu cyfrowego typu lustrzanka lub dwóch aparatów kompaktowych.



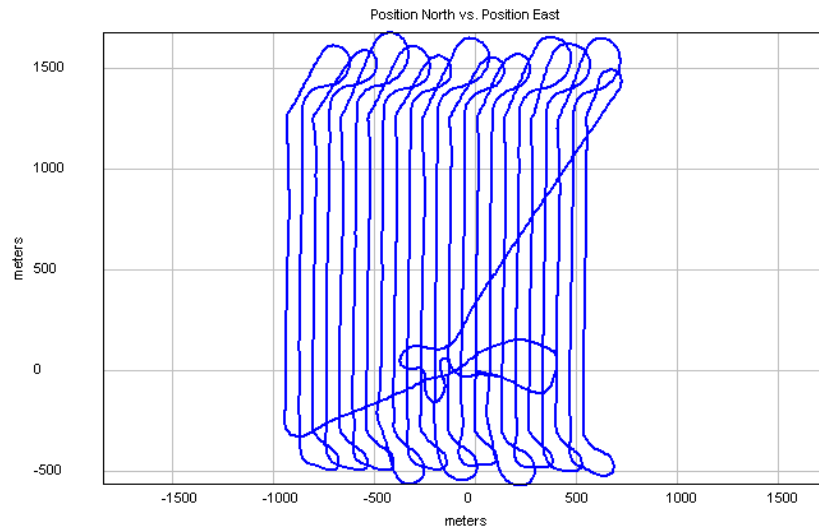
Rys. 1. Bezzałogowy statek latający AVI-1

W obiekcie badań zaplanowano osiągnięcie pokrycia poprzecznego i podłużnego w granicach 65÷70%, rozdzielczość terenową zdjęć ok. 15 cm, lot na wysokości 350 metrów, odstęp osi szeregów zdjęć 55÷60 metrów. Przy zakładanej prędkości nalotu 50÷60 km/h interwał fotografowania określono na około 3.5 sek. Obiekt nalotu, o nieregularnym kształcie, zajmował 284 ha.

Loty wykonano przy lekkim zachmurzeniu, wietrze o prędkości ok. 4 m/s z kierunku zachodniego. Osiągnięto następujące parametry lotu (wartości średnie): wysokość barometryczna lotu 349 m, pochylenie samolotu 2.8°, przechylenie 1.89°, prędkość 56.9 km/h.

---

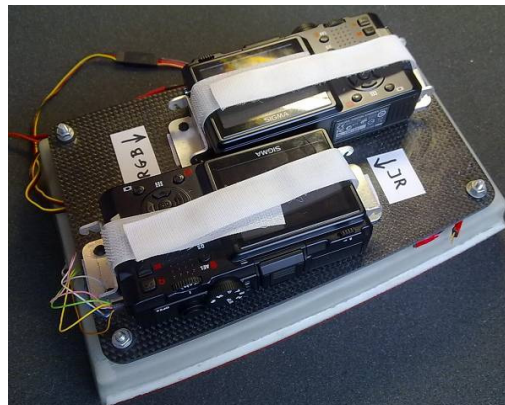
<sup>1</sup> AVI – nazwa własna płatowca.



Rys. 2. Trasa lotu odtworzona na podstawie danych z pliku „log” autopilota

### 3. APARATY CYFROWE

Użyto dwóch aparatów kompaktowych Sigma DP2, posiadających stałogniskowe obiektywy o ogniskowej 24.2 mm i trójwarstwową matrycę Foveon X3,  $2652 \times 1768$  pikseli. Jeden z nich został zmodyfikowany tak, by rejestrował zakres bliskiej podczerwieni (720÷1100 nm). W tym celu usunięty został filtr wewnętrzny odcinający podczerwień, natomiast przed obiektywem zainstalowano filtr (Hoya R72) odcinający większość światła widzialnego, lecz przepuszczający zakres promieniowania od długości 720 nm (rys. 3).



Rys. 3. Fotograficzne aparaty cyfrowe Sigma DP2 w zasobniku

Sterowanie aparatami odbywało się za pośrednictwem układu elektronicznego, konwertującego polecenia wydawane przez autopilota. Obydwa aparaty wykonywały zdjęcia jednocześnie. Zdjęcia zapisywano w formacie RAW. Ustawienia aparatu dobrano następująco: ostrość ustawiona na nieskończoność, tryb fotografowania – priorytet migawki, czas ekspozycji: dla zakresu widzialnego 1/250 s, dla podczerwieni 1/160 s, wartość przesłony ustawiana automatycznie: dla zakresu widzialnego w zakresie 2.8÷5.6, a dla podczerwieni 5.6÷8.

#### 4. WYKONANIE ORTOMOZAIK

Materiał fotograficzny został przetworzony do postaci ortomozaiki za pomocą programu EnsoMOSAIC (<http://www.mosaicmill.com>). Proces automatycznego wykonania aerotriangulacji polegał na wyszukiwaniu i pomiarze punktów wiążących na obrazach piramidalnych oraz na wygenerowaniu numerycznego modelu pokrycia terenu. Dodatkowo w procesie aerotriangulacji zostało wykorzystanych 14 fotopunktów. Danymi niezbędnymi do wykonania aerotriangulacji były: wyniki kalibracji kamery, współrzędne środków rzutów wyznaczone metodą GPS podczas nalotu, kierunki poszczególnych szeregów zdjęć, wysokość lotu, średnia wysokość fotografowanego terenu, numer zdjęcia, numer szeregu zdjęć.

Na dokładność ortomozaiki, oprócz parametrów charakteryzujących lot (utrzymanie wysokości lotu i kierunku lotu, akceptowalne pochylenia i przechylenia), miała wpływ dokładność z jaką są rejestrowane za pomocą GPS przybliżone współrzędne XY środków rzutów zdjęć. Dokładność teoretyczna pozycji wynosiła 2.5 m (Ublox TIM-4P Data Sheet).

Wykonana ortomozaika CIR o rozdzielczości przestrzennej 0.15 × 0.15 m (tab. 4, rys. 4) charakteryzowała się bardzo dużym potencjałem interpretacyjnym, co przejawiało się w wysokiej rozdzielczości zdjęć, dobrym zakresie tonalnym, możliwościach rozpoznawania kształtu i obiektów. Materiał pozwalał na rozpoznawanie kształtów koron drzew oraz rozróżnianie gatunków iglastych i liściastych na powierzchniach leśnych.

Tab. 1. Parametry charakteryzujące ortomozaikę

Obszar [ha]	BSL	Liczba zdjęć	Wysokość lotu [m]	Rozdzielczość terenowa [m]	RMS dla 14 fotopunktów [m]
284	AVI-1	930	350	0.15	0,90

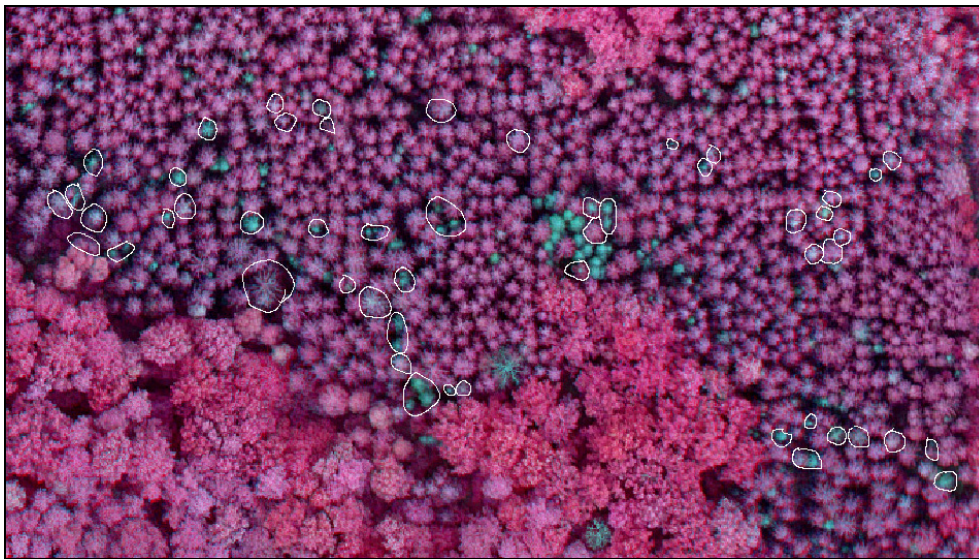
#### 5. OCENA STANU ZDROWOTNEGO ŚWIERKÓW

Na podstawie obserwacji na ortomozaice CIR oceniono, w poszczególnych analizowanych koronach drzew, udział czterech barw: czerwonej nasyconej, czerwonej rozjaśnionej (różowej), czerwonej z dużym dodatkiem bieli oraz zielonej. Barwy te związane są z różnymi objawami chorobowymi i uszkodzeń koron (tab. 2).

Obserwacje wykonało niezależnie od siebie dwóch obserwatorów, każdy w dwóch seriach. Ponieważ u każdego obserwatora obserwacje pierwszej i drugiej serii były oddzielone kilkudniową przerwą, można przyjąć, że w drugiej serii nie sugerowali się (nie pamiętali) własnych wskazań z serii pierwszej. Ten sposób przeprowadzenia doświadczenia miał na celu zapewnienie warunków do sprawdzenia, czy barwy koron drzew będą rozpoznawane jednolicie przez danego obserwatora i czy obydwaj obserwatorzy otrzymają podobne wyniki.

Tab. 2. Barwy obserwowane w obrębie koron drzew i ich związek ze stopniami uszkodzeń

Nr barwy ( <i>i</i> )	Barwa korony na zdjęciu CIR	Stan korony drzewa obserwowany w terenie
1	Czerwień nasycona	Zdrowa, pełny garnitur igieł, bez widocznych zmian zabarwienia
2	Czerwień rozjaśniona (różowy)	Redukcja aparatu asymilacyjnego, widoczne przebarwienia części igieł (jasnozielone, żółtawe lub zaczerwienione)
3	Biały (z lekkim dodatkiem czerwieni)	Znaczna redukcja aparatu asymilacyjnego, duża część pozostających na drzewie igieł jest przebarwiona
4	Zieleń	Drzewa martwe (brak igieł, także martwych)



Rys. 4. Fragment ortomozaiki CIR (ok. 200 × 120 m) – zaznaczono drzewa będące obiektem analiz

Syntetycznym miernikiem stanu korony drzewa jest wskaźnik  $W_i$ , który obliczono na podstawie podanej poniżej wzoru:

$$W_i = \frac{\sum_{i=1}^4 u_i K_i - 10}{30} \quad (1)$$

przy czym:

$$\sum_{i=1}^4 u_i = 10 \quad (2)$$

gdzie:

$u_i$  – udział powierzchniowy  $i$ -tej barwy w obrazie korony,  $u_i = \{1, 2, \dots, 10\}$ ,  
 $K_i$  – kod  $i$ -tej barwy,  $K_i = \{4, 3, 2, 1\}$  dla odpowiednio  $i = \{1, 2, 3, 4\}$ .

Wskaźnik  $W_I$  (wzór 1) osiąga wartości z przedziału od 1 (korona na całej powierzchni jej obrazu jest czerwona, drzewo zdrowe) do 0 (korona na całej powierzchni zielona, drzewo martwe).

Ocenę jednolitości rozpoznawania barw przez obserwatorów oparto na porównaniu uzyskanych wartości wskaźnika  $W_I$  (wzór 1). Zastosowano analizę wariancji z pomiarami powtarzanymi (tab. 3). Przyjęto, że na ocenę wskaźnika wpływają dwa czynniki: osoby (dwóch obserwatorów) i powtórzenia obserwacji (każdy obserwator wykonał po dwie obserwacje tej samej korony).

Uzyskane wyniki można zinterpretować następująco:

- nie stwierdzono istotności różnic ocen między osobami,
- nie stwierdzono istotności różnic między seriami obserwacji,
- nie stwierdzono interakcji – u każdej osoby wystąpiło takie samo „przesunięcie” wyników między dwiema ocenami.

Wartości średnie, błąd standardowy i przedziały ufności przedstawiono w postaci graficznej na rysunku 5.

Tab. 3. Wyniki analizy wariancji dla powtarzanych pomiarów, dotyczące jednolitości oceny stanu koron świerków, wykonanej przez dwóch obserwatorów w dwóch seriach obserwacji

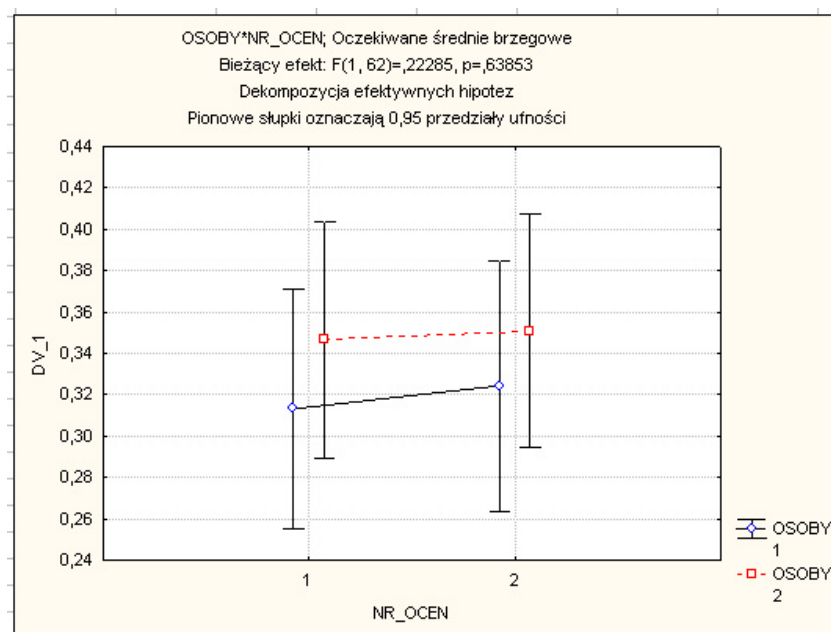
Parametr	SS suma kwadratów	Stopnie swobody	MS średnie kwadraty odchyleń	Wartość funkcji testowej <b>F</b>	Poziom istotności <b>P</b>
Wyraz wolny	28.1	1	28.1	150.4	<0.001
Błąd	11.6	62	0.187		
OSOBY	5.6E-2	1	5.6E-2	3.18	0.079
Błąd	1.10	62	1.8E-2		
NR_SERII_OBSERACJI	3.7E-3	1	3.7E-3	0.796	0.376
Błąd	0.289	62	4.7E-3		
OSOBY*NR_SERII_OBS	7.5E-4	1	7.5E-4	0.223	0.639
Błąd	0.207	62	3.34E-3		

Tab. 4. Ocena podobieństwa wyników obserwacji stanu koron świerków wykonanych przez dwóch obserwatorów w dwóch seriach obserwacji; rezultaty testu wielokrotnych porównań *post-hoc* wg Tukey’a (błąd powtórzonych pomiarów  $MS = 0.0033$ , liczba stopni swobody  $df = 62$ ); pary obserwacji istotnie różne na poziomie  $P = 0.05$  oznaczono gwiazdką

Lp.	OSOBY	NR_SERII_OBSERW.	Liczba porządkowa			
			{1}	{2}	{3}	{4}
1	1	1		0.707	0.010*	0.003*
2	1	2	0.707		0.147	0.060
3	2	1	0.010*	0.147		0.976
4	2	2	0.003*	0.060	0.976	

Na podstawie porównania wielokrotnego *post-hoc* wg Tukey’a (Stanisz 2007; tab. 4) stwierdzono istotną różnicę między pierwszą oceną pierwszego obserwatora, a obiema obserwacjami obserwatora drugiego. Pomiędzy drugą oceną pierwszego obserwatora, a obydwoma obserwacjami obserwatora drugiego, nie stwierdzono istotnych różnic, choć

różnica pomiędzy wartościami średnimi drugich ocen była na granicy istotności. Nie stwierdzono różnic pomiędzy obiema obserwacjami zarówno pierwszego jak i drugiego obserwatora. Obserwator drugi uzyskał nieznacznie większe wartości wskaźnika niż obserwator pierwszy. Widoczne były także nieznaczne różnice między seriami – większe wartości w serii drugiej. Błąd oceny wskaźnika (pionowe słupki, rys. 5) był podobny w przypadku obu obserwatorów.



Rys. 5. Wartość średnia oraz błąd ocen wskaźnika  $W_1$  (przy  $P = 0.05$ ) wykonanych przez dwóch obserwatorów w dwóch seriach

Aby ocenić, w jakim stopniu wskaźnik  $W_1$  (wzór 1) jest związany z cechami (barwami) koron drzew obserwowanymi na zdjęciach, dokonano podziału zebranego materiału na pięć grup drzew (tab. 5). Grupy reprezentowały różne, obserwowane w terenie, kombinacje cech opisujących stan drzew. Oprócz dwóch stanów skrajnych (drzewa zdrowe i martwe), wyróżniono trzy grupy, w których ilość i stan aparatu asymilacyjnego był pośredni.

Obserwatorzy pracujący w terenie stwierdzili, że procesy chorobowe prowadziły do zamierania całych drzew lub ich części wierzchołkowych, a objawiały się ubytkiem aparatu asymilacyjnego (bez zmian zabarwienia), zmianami zabarwienia aparatu asymilacyjnego (bez wyraźnych ubytków) lub równoczesnym ubytkiem i zmianami zabarwienia aparatu asymilacyjnego.

Należy zaznaczyć, że w kilku przypadkach nie odnaleziono na zdjęciu drzew, które były zarejestrowane w terenie. Przyczyną było to, że obserwatorzy oceniający korony drzew na zdjęciach dysponowali jedynie szkicem połowym, a nie mieli wglądu do notatek, które zawierały opis stanu zdrowotnego drzew wykonany przez obserwatorów pracujących w terenie. Zdarzało się tak w sytuacji, gdy w terenie opisywano grupę drzew (składającą się z 2, 3, 4 osobników) stosunkowo blisko siebie rosnących i o takiej samej kondycji zdrowotnej. Na obrazach korony tych drzew były trudne do rozdzielenia, więc zostały zinterpre-

towane jako pojedyncze korony. Z analizy wynika, że nie wyodrębniono drzew o bardzo małych koronach lub ze złamanymi wierzchołkami.

Tab. 5. Wartość wskaźnika  $W_I$  (wzór 1) w zależności od obserwowanego w terenie stanu drzewa

Grupa drzew wg obserwacji terenowych	Liczba drzew	Wartość średnia wskaźnika $W_I$	
		Obserwator I	Obserwator II
k0 – drzewa całkowicie martwe, brak igliwia (martwego)	36	0.217	0.182
k1 – drzewa z martwymi wierzchołkami, bez igliwia. Pozostała część korony zdrowa, bez wyraźnych objawów chorobowych	4	0.600	0.463
k2 – drzewa z ubytkiem i przebarwieniem igliwia	2	0.158	0.217
k3 – drzewa z ubytkiem igliwia, ale bez widocznych jego przebarwień	12	0.517	0.468
k4 – drzewa z przebarwieniem igliwia, ale bez widocznych jego ubytków	5	0.540	0.603
k5 – drzewa zdrowe	3	0.711	0.733
Razem / wartość średnia	62	0.348	0.317

Wraz ze zmianą kondycji drzew zmieniała się wartość wskaźnika  $W_I$  ( $p < 0.001$ ) (tab. 5). Według rezultatów obserwatora pierwszego, klasy drzew rozpoznane w terenie, ze względu na  $W_I$  były uporządkowane następująco<sup>2</sup>:  $k2^A$   $k0^A$   $k3^{AB}$   $k4^{AB}$   $k1^B$   $k5^B$ . Według obserwatora drugiego to uporządkowanie było częściowo inne:  $k0^A$   $k2^{AB}$   $k1^{BC}$   $k3^{BC}$   $k4^{BC}$   $k5^{BC}$ .

Wyjaśnienia wymaga miejsce w tym schemacie drzew k1 z martwymi wierzchołkami, gdy reszta korony nie wykazywała objawów chorobowych. W ich przypadku wartość wskaźnika  $W_I$  może nie być miarodajną oceną ogólnej kondycji. Oszacowanie wskaźnika  $W_I$  sprawiało przy tym kłopoty, bowiem w tej kategorii drzew była największa różnica wyników między obserwatorami.

## 6. WNIOSKI

Przeprowadzone badania upoważniają do przedstawienia następujących wniosków:

1. Wydajność systemu bezzałogowego AVI pozwala na wykonanie obrazów do ortomosaiki obejmującej powierzchnię od kilkuset do kilku tysięcy ha.
2. Zmodyfikowane aparaty cyfrowe umożliwiają pozyskiwanie zobrazowań wielospektralnych (RGB+IR) o wysokiej rozdzielczości przestrzennej.
3. Stan koron świerków był określany na zdjęciach lotniczych w sposób powtarzalny. Taka ocena wynika z faktu, że dany obserwator podczas kolejnych serii obserwacji podawał podobne wyniki, a różnice między obserwatorami były na tyle małe, że można się spodziewać ich zniwelowania w wyniku nauki i treningu.
4. Zdjęcia wielospektralne (RGB+IR) uzyskane za pomocą aparatów cyfrowych, przenoszonych przez BSL, pozwalają na wiarygodną ocenę stanu zdrowotnego drzewostanów świerka na podstawie oceny stanu pojedynczych koron.
5. Zastosowany wizualny sposób oceny (na podstawie udziału czterech barw w obrazie każdej korony) był pracochłonny.

<sup>2</sup> obiekty oznaczone tą samą literą w indeksie górnym nie różniły się na poziomie  $P = 0.05$ .



W artykule przedstawiono wybrane wyniki prac, które były finansowane ze środków:

1. Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego – projekt celowy nr 6 ZR6 2009C/07320 „Wykorzystanie obrazów wielospektralnych wykonanych z bezzałogowych statków latających (BSL) do zastosowań w badaniu stanu środowiska na przykładzie inwentaryzacji uszkodzeń biotycznych w lasach”.
2. Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego – grant promotorski NN 309 112537 „Zastosowanie bezzałogowych statków latających do pozyskania danych obrazowych o lesie”.
3. Europejskiego Funduszu Społecznego i Budżetu Państwa w ramach Zintegrowanego Programu Operacyjnego Rozwoju Regionalnego, Działania 2.6 „Regionalne strategie innowacyjne i transfer wiedzy” projektu własnego województwa mazowieckiego „Mazowieckie Stypendium Doktoranckie”.

## 7. LITERATURA

Adamczyk J., Będkowski K., 2006. Cyfrowa analiza zależności między barwą koron na zdjęciach lotniczych a stanem zdrowotnym drzew. *Roczniki Geomatyki*, T. IV, Z. 4, s. 47–54.

Berni J. A. J., Zarco-Tejada P. J., Suárez L., Fereres E., 2009. Thermal and Narrowband Multispectral Remote Sensing for Vegetation Monitoring From an Unmanned Aerial Vehicle. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 47, No. 3.

Bychawski W., 1980. Zastosowanie lotniczych zdjęć spektrostrefowych do określania stref przemysłowego zagrożenia drzewostanów sosnowych. *Prace Instytutu Geodezji i Kartografii*, Z. 3.

Bychawski W., Iracka M., 1978. Określenie na podstawie spektrostrefowych zdjęć lotniczych stref zagrożenia drzewostanów sosnowych będących pod wpływem szkodliwego oddziaływania zakładów przemysłowych. *Prace Instytutu Geodezji i Kartografii*, Z. 2.

Eisenbeiss H., 2008. The autonomous mini helicopter, a powerful platform for mobile mapping. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVII, Part B1.

Eugster H., Nebiker S., 2008. UAV – based augmented monitoring – real – time georeferencing and integration of video imagery with virtual globes. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVII, Part B1.

Everaerts J., 2008. The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) for remote sensing and mapping. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVII, Part B1.

Grenzdörffler G. J., Engelb A., Teichert B., 2008. The photogrammetric potential of low-cost UAV's in forestry and agriculture. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVII, Part B1.

Jankowicz B., 2010. Fotogrametryczne niskopułapowe naloty platform autonomicznych, *Polska Akademia Nauk, Oddział w Krakowie, Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi*, Nr 3, s. 95–101.

Królikowski J., 2011. Latać każdy może. *Geodeta* 7 (194), s. 48–51.

Nebiker S., Annen A., Scherrer M., Oesch D., 2008. A light – weight multispectral sensor for UAV – opportunities for very high resolution airborne remote sensing. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVII, Part B1.

Stanisz A., 2007. Przystępny kurs statystyki z zastosowaniem STATISTICA PL na przykładach z medycyny. Tom 2. Modele liniowe i nieliniowe. *StatSoft, Kraków*.

Sugiera R., Noguchi N., Ishii K., 2005. Remote-sensing Technology for Vegetation Monitoring using an Unmanned Helicopter. *Biosystems Engineering*.

Szczechowski B., 2008. Wykorzystanie Bezzałogowych Aparatów Latających (mini śmigłowców) do wykonywania fotogrametrycznych zdjęć lotniczych z niskich pułapów. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 18b, s. 569–579.

Taxus, 2010. Taxus SI Sp. z o.o. Samolot do fotografii z powietrza. Dokumentacja techniczna. Warszawa.

Ublox TIM-4P, Data Sheet: Zürcherstrasse 68 8800 Thalwil, Switzerland (www.u-blox.com).

Zmarz A., 2011. Zastosowanie bezzałogowych statków latających do pozyskania danych obrazowych o lesie. *Katedra Urządzania Lasu, Geomatyki i Ekonomiki Leśnictwa, SGGW w Warszawie* (praca doktorska).

**ASSESSMENT OF NORWAY SPRUCE HEALTH  
USING MULTISPECTRAL IMAGES  
ACQUIRED FROM UNMANNED AERIAL VEHICLE  
WITH NON-METRIC CAMERAS**

KEY WORDS: Norway spruce, health, multispectral images, UAV

SUMMARY: Several tests were carried out of unmanned aerial vehicles (UAV) equipped with customer cameras to take pictures of forest areas. Based on this a special own UAV was built which can carry a set of non-metric digital cameras recording images in RGB and near-IR channels. Approximately 1000 aerial images with a ground resolution of 0.15 m were taken for the selected research facility with an area of approximately 250 ha. These images were used to produce an orthomosaic in natural and multispectral bands. It was decided to find out whether it is possible to evaluate the health condition of spruce (*Picea abies*). The field observations were made of the crowns of spruces growing in about 40-year-old single-species stand. Information on the density of pine needles, its color, and other symptoms of the tree condition were recorded. The same trees were identified on orthomosaic and classified. Results of classification from the field and orthomosaic were compared. It was concluded, that it is possible to divide the observed number of trees into several health condition classes.

Dr inż. Anna Zmarz  
e-mail: azmarz@taxussi.com.pl  
telefon: (+48) 22 8245898  
fax: (+48) 22 6590909

Dr hab. inż. Krzysztof Będkowski, prof. SGGW  
e-mail: krzysztofbedkowski@tlen.pl  
telefon: (+48) 22 5938222  
fax: (+48) 22 5938207

Prof. dr hab. Stanisław Miścicki  
e-mail: Stanislaw.Miscicki@wl.sggw.pl  
telefon: (+48) 22 5938208  
fax: (+48) 22 5938207

Mgr inż. Wieńczysław Plutecki  
e-mail: wplutecki@taxussi.com.pl  
telefon: (+48) 22 8245898  
fax: (+48) 22 6590909