

## Ocena stanu zdrowotnego świerka pospolitego (*Picea abies* Karst.) na podstawie zdjęć lotniczych wykonanych z niskiej wysokości w okresie intensywnego wiosennego wzrostu drzew

*Assessment of Norway spruce (*Picea abies* Karst.) health  
based on low altitude aerial images acquired in the spring,  
the period of intensive trees growth*

**Paweł WOLINOWSKI**

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Wydział Leśny

ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa

**Krzysztof BĘDKOWSKI**

Uniwersytet Łódzki, Wydział Nauk Geograficznych

Instytut Geografii Miast i Turyzmu, Zakład Geoinformacji

ul. Kopcińskiego 31, 90-142 Łódź

### Abstract

In this paper, we describe the assessment of Norway spruce (*Picea abies* Karst.) trees health by the use of low-altitude aerial photos taken in the first half of June, so during the growth of trees and extensive changes in their crowns. Another differentiating factor is the composition of the stand, where there are trees grown from seeds collected from several remote locations. Images were taken in RGB and IR ranges and processed to orthomosaic, which was used to assess the condition of the trees. The aim of the study was to evaluate the possibility to acquire on this way reliable information about the condition of the trees, by comparison with the results of field research conducted in parallel. The differences between the assessments of trees damage in the field and on the basis of orthomosaics are not large, in all cases less than half a degree. The differences in results from field observations, and the picture are slightly greater in the case of trees observed on the discolored parts of orthomosaics. It is noticeable that the observer has difficulty in these conditions in the appropriate reading of degrees of damage. Although we used images taken in the unfavorable season (intensive development of trees) and related to the forest made up of trees of different origin, which is expressed at different rates of phenological events, the obtained results are with high compliance between field assessment and on the basis of the image. In the case of trees located outside the discoloration assessment results achieved on the basis of pictures were similar to the degree of damage reconized in field.

**Key words:** remote sensing, forestry, Norway spruce, tree's health, unmanned aerial vehicle

**Słowa kluczowe:** teledetekcja, leśnictwo, świerk pospolity, stan zdrowotny drzew, bezzałogowy statek powietrzny

Aerial images are used to recognize the state of health of forests for a long time. Particularly useful for the assessment of the condition of forests are pictures that record the near-infrared range, where changes of trees condition caused by biotic and abiotic factors is well visible. In Poland in the 70s was developed and implemented an inventory technology, which used aerial images made on CIR-films produced in former USSR (SN6) or USA (Kodak Aerochrome Infrared Film 2443). Currently, for many reasons, most often related to economic and logistical reasons, foresters enjoy remote sensing systems based on unmanned aerial vehicles. Widely available, amateur (non-metric) digital cameras can be relatively easily adapted onboard of UAV's to record images using the near-infrared range, which is essential for the assessment of the condition of vegetation.

Plants are changing significantly during the growing season, which is obvious reflected in the variation of their spectral characteristics. The period of greatest spectral stability of the forest trees falls in the summer months, July and August, that is, from the end of spring growth until the onset of the changes resulting from the discoloration of assimilation apparatus caused by the summer drought or preparing trees for winter dormancy. In the summer visible diversity of trees is mainly due to interspecies differences, and the diverse condition of the trees.

In this paper, we describe the assessment of Norway spruce (*Picea abies* Karst.) trees health by the use of aerial photos taken in the first half of June, so during the growth of trees and extensive changes in their crowns. Another differentiating factor is the composition of the stand, where there are trees grown from seeds collected from several remote locations. Images were taken in RGB and IR ranges and processed to orthomosaics, which was used to assess the condition of the trees. The aim of the study was to evaluate the possibility to acquire on this way reliable information about the condition of the trees, by comparison with the results of field research conducted in parallel.

Field observations were made at the turn of May and June (Wolinowski 2011). Condition of 200 trees was recognized based on a visual assessment of the loss of the assimilation apparatus (defoliation). Each tree was classified into one of five defoliation classes (Dmyterko and Bruchwald 2007): (1) 0-10%, (2) 11-25%, (3) 26-60%, (4) >60%, (5) dead trees. Due to strong cloud cover during the fieldwork was not possible to perform the evaluation of discoloration of trees needles. Aerial photos were made immediately after the completion of field work, using two non-metric digital cameras Sigma DP2, carried by an unmanned aircraft, "Avi-1" (Plutecki et al. 2013). One camera performs the standard RGB color images, while the other recorded the images in the near infrared. Evaluation of the trees was carried out visually on the images, which were provided by contractors in the form of orthomosaics. The process of creating orthomosaic was fully automated. Color reproduction is not uniform. In the middle (fig. 1 and 2) defect can be seen, whose cause is the failure in color correction algorithm used when

producing orthomosaics. Every tree was assigned based on the color of the crown to one of 5 classes, labeled 0 ÷ 4, as in the case of field work (4 = dead trees). Healthy trees have crowns purple, with increasing damage the crown became lighter (by various shades of pink to nearly white), while the crowns of the dead trees, were imaged in green. To determine the potential impact of color defect, research material was divided into two parts. The first included 70 trees from the north-western part of the stand (best picture quality). The second part formed 130 other trees present in the image middle area with discoloration.

The method of visually assessing the degree of damage don't provides reproducible results as confirmed by comparing the estimation of the same tree performed in two separate series of observations (tab. 2). In 53.5% of cases, both scores were identical, and 44% of the difference between scores was 1, and only in 5 cases out of 200 the difference was greater. Calculated Kappa coefficient has a value of 0.34. It should however be remembered that the pictures had relatively high spatial resolution (approx. 10 cm), and the evaluation of the trees had to be representative of the entire crown. Within the crown very often there were visible fragments of colors corresponding to different degrees of damage, and the evaluation of the trees was then difficult. Another is the perception of the trees from the ground level, compared to aerial observation. Therefore, a difference of only 1 degree between the condition assessments for about half of trees and 2 degrees for approx. 2.5% of trees can be regarded as justified. Note that in the practice of remote sensing facts are known that experienced observers performing visual interpretation of the condition of trees do not make mistakes bigger than one degree.

The research revealed that condition of trees belonging to the field classes 0, 1 and 2 based on orthomosaic was determined as generally worse than during the field work, and the tree of the classes 3 and 4 received on the image better evaluation (tab. 3). The smallest differences between the degree of damage determined in the field and the average rating based on the image occur in the case of trees lying on the image outside the discoloration area. The differences in results from field observations, and the picture are slightly greater in the case of trees observed on the discolored parts of ortomosaics. It is noticeable that the observer has difficulty in these conditions, the appropriate reading of degrees of damage, which is expressed in a small slope of the regression line (Fig. 3).

Although we used images taken in the unfavorable season (intensive development of trees) and related to the forest made up of trees of different origin, which is expressed at different rates of phenological events, the obtained results are with high compliance between field assessment and on the basis of the image. In the case of trees located outside the discoloration assessment results on the basis of pictures were similar to the degree of damage reconized in field. Image discoloration hinder interpretation of the image and affects the proper assessment of the degree of damage to trees. Pictures

taken using the modified non-metric cameras carried by unmanned aircraft, processed to orthomosaics, can

be successfully used to assess the degree of damage to trees in Norway spruce stands.

## Wprowadzenie

Zdjęcia lotnicze są stosowane do rozpoznawania stanu zdrowotnego lasów od dawna. Szczególną przydatność do oceny kondycji lasów mają zdjęcia, które rejestrują promieniowanie z zakresu bliskiej podczerwieni. W tym zakresie promieniowania zmiany stanu drzew, powodowane przez czynniki biotyczne i abiotyczne, są szczególnie dobrze widoczne. Pierwsze opracowania, w których korzystano ze zdjęć w podczerwieni, powstawały już przed blisko siedemdziesięciu laty (Rudzki i Barszczewski 2007). W kraju w latach 70-tych opracowano i wdrożono technologie inwentaryzacji stanu lasu, w których stosowano zdjęcia lotnicze wykonywane na filmach spektrostrefowych produkcji radzieckiej (SN6) lub amerykańskiej (Kodak Aerochrome Infrared Film 2443). Zagadnienia te ujęte są w wielu pozycjach literatury naukowej (zob. np. Mozgawa 1977, Bychawski i Iracka 1978, Bychawski 1980, Akça i in. 1981, Feldkötter i in. 1995, Iracka 1981, Bychawski i in. 1984, Tepassee 1987, Barszczewski 1991, Iracka 1991).

Nieustanny rozwój teledetekcji polega na opracowywaniu i wdrażaniu nowych sensorów, platform służących do ich przenoszenia oraz technik przetwarzania danych. W teledetekcji obszarów leśnych istotne zmiany jakościowe ostatnich lat wyrażają się m.in. w większym dostępie do obrazowań satelitarnych, możliwości stosowania bezzałogowych statków powietrznych, wykonywania obrazowań cyfrowych i ich przetwarzania z uwzględnieniem zarówno wymagań fotogrametrii, jak i teledetekcji. Z wielu powodów, najczęściej natury ekonomicznej oraz logistycznej, dużym zainteresowaniem leśników cieszą się systemy teledetekcyjne oparte na bezzałogowych statkach powietrznych (Feldkötter i in. 1995; Sugiera i in. 2005; Eisenbeiss 2008; Eugster i Nebiker 2008; Everaerts 2008; Grenzdörffer i in. 2008; Nebiker i in. 2008; Szczechowski 2008; Jankowicz 2010; Królikowski 2011; Zmarz 2011; Zmarz i in. 2012; Plutecki i in. 2013). Obrazy lasów mogą być uzyskiwane w stosunkowo krótkim czasie, niemal „na telefon”, a odpowiednie oprogramowanie umożliwia łatwe otrzymywanie produktów o dużym stopniu przetworzenia – tzw. ortomosaik, zbliżonych pod względem własności geometrycznych do cenionych ortofotomap. Dostępne powszechnie, amatorskie (niemetryczne) aparaty cyfrowe mogą być stosunkowo łatwo przystosowane do rejestrowania obrazów z wykorzystaniem promieniowania z zakresu bliskiej podczerwieni, istotnego dla oceny kondycji roślinności (Zmarz 2009, Zmarz i Plutecki 2010).

Roślinność leśna jest tworem zmieniającym się istotnie w ciągu sezonu wegetacyjnego, co ma oczywiste odzwierciedlenie w zmienności charakterystyk spektralnych. Okres największej stabilności spektralnej drzew leśnych przypada na miesiące letnie, lipiec i sierpień, czyli od zakończenia wzrostu wiosennego do wystąpienia pierwszych

zmian wynikających z przebarwień aparatu asymilacyjnego powodowanych przez suszę letnią lub przygotowywanie się drzew do spoczynku zimowego. W okresie letnim różnicowanie odwzorowania drzew wynika głównie z różnic międzygatunkowych, a w obrębie drzew jednego gatunku – ze zróżnicowanej kondycji drzew.

W niniejszej pracy przedstawiono próbę odmiennego podejścia do problemu oceny kondycji drzew świerka pospolitego *Picea abies* Karst., ponieważ zastosowano zdjęcia lotnicze wykonane w pierwszej połowie czerwca, a więc w okresie wzrostu drzew i intensywnych zmian w ich koronach. Dodatkowym czynnikiem różnicującym jest skład drzewostanu, w którym znajdują się drzewa wyhodowane z nasion zebranych z kilkunastu odległych miejsc. Zdjęcia wykonano w zakresach RGB oraz IR i przetworzono do ortomosaik, które posłużyły do oceny stanu drzew. Celem badań była ocena możliwości uzyskania w przedstawionych warunkach wiarygodnych informacji o kondycji drzew, poprzez ich porównanie z rezultatami równoległe przeprowadzonych badań terenowych.

## Materiały i metody

Badania terenowe przeprowadzono w drzewostanie świerka pospolitego rosnącego w uroczysku leśnym Głuchów, w Leśnym Zakładzie Doświadczalnym w Rogowie, należącym do Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie (51°45'15,7"N, 20°06'25"E). Jest w nim prowadzone doświadczenie dotyczące wzrostu świerków wyhodowanych z nasion zebranych w siedemnastu miejscach w kraju i dwóch w Niemczech. Drzewostan został założony w 1975 roku. Użyto 3-letniego materiału sadzeniowego o symbolu produkcyjnym 3/0 (sadzonki trzyletnie nieszkółkowane) oraz 2/1 (sadzonki trzyletnie szkółkowane po dwóch latach). Świerki posadzono na działkach o wymiarach 15 × 15 m, w odstępach 1,5 × 1,5 m, po 100 sadzonek wyhodowanych z nasion uzyskanych z danego pochodzenia w kraju lub Niemczech. Układ działek jest widoczny wyraźnie zarówno w terenie, jak i na zdjęciach lotniczych, co umożliwia jednoznaczną identyfikację drzew.

Obserwacje terenowe wykonano na przełomie maja i czerwca 2010 r. (Wolinowski 2011). Określono kondycję 200 drzew, po min. 3 drzewa z każdej z wybranych działek. Stan drzew ustalono na podstawie wizualnej oceny stopnia ubytku aparatu asymilacyjnego (defoliacji). Każde drzewo zakwalifikowano do jednej z 5 klas (Dmyterko i Bruchwald 2007):

- 0 – defoliacja 0-10%, drzewa zdrowe
- 1 – defoliacja 11-25%, korona lekko przerzedzona
- 2 – defoliacja 26-60%, korona przerzedzona
- 3 – defoliacja powyżej 60%, korona silnie przerzedzona
- 4 – drzewa martwe

Na skutek dużego zachmurzenia, w czasie prac terenowych nie można było wykonać oceny przebarwień aparatu asymilacyjnego drzew.

Zdjęcia lotnicze drzewostanu wykonano na początku czerwca, bezpośrednio po zakończeniu prac terenowych, za pomocą dwóch niemetrycznych kamer cyfrowych Sigma DP2, przenoszonych przez bezzałogowy statek powietrzny „Avi-1” (Plutecki i in. 2013). Jedna kamera wykonywała standardowe zdjęcia barwne RGB, natomiast druga rejestrowała obrazy w bliskiej podczerwieni. Możliwość rejestracji podczerwieni uzyskano dzięki przebudwie kamery, co polegało na usunięciu filtra podczerwieni znajdującego się na macierzy elementów światłoczułych CCD, którego zadaniem jest odcinanie zakresu promieniowania podczerwonego. Obiektyw kamery zaopatrzone następnie w filtr odcinający zakres promieniowania widzialnego. Przebudowa kamery

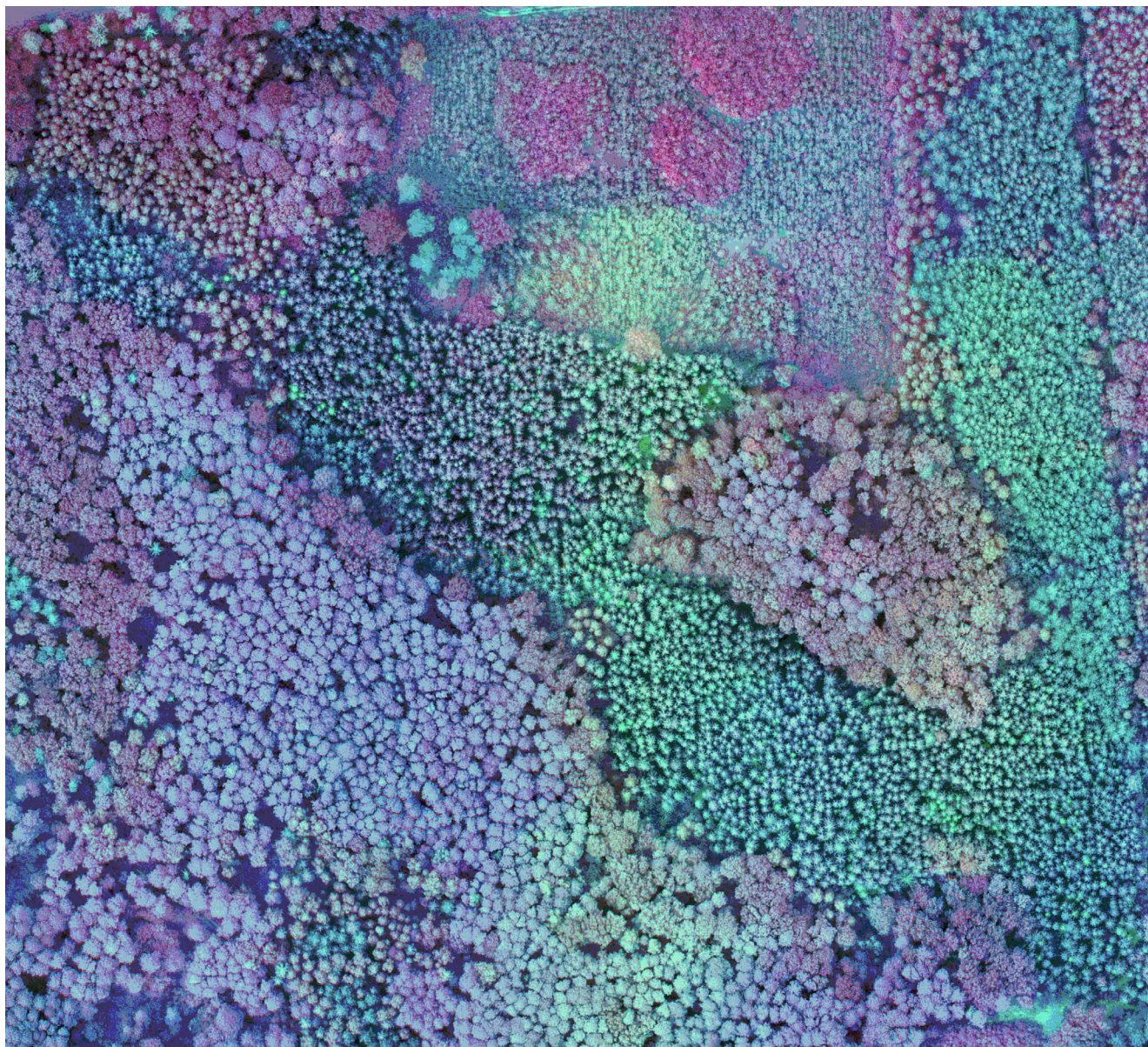
została zrealizowana w SGGW w Warszawie na potrzeby badań prowadzonych przez Zmarz (2011).

Zarówno system rejestrujący obrazy (bezzałogowy statek powietrzny „Avi-1” oraz zestaw kamer Sigma DP2), jak i sam drzewostan były już przedmiotem wcześniej prowadzonych badań. Wykazano wówczas przydatność ortomozaik CIR utworzonych ze zdjęć wykonanych w lipcu do rozpoznawania kondycji poszczególnych świerków (Zmarz i in. 2012), a także do oceny kondycji drzew odmiennych powienieneci, tj. wyhodowanych z nasion zebranych w wybranych odległych miejscach w kraju i za granicą (Robaszkiewicz i in. 2014). Analizowano także możliwość wykorzystania zdjęć wykonanych w okresie jesieni do analizy składu gatunkowego drzewostanów (Będkowski i Stereńczak 2013), odróżniania dębu czerwonego (*Quercus rubra*) od dębów rodzimych (Będkowski i Stereńczak 2012) oraz do



Ryc 1. Ortofotomozaika w barwach naturalnych (RGB). Rycina przedstawia obszar o powierzchni 20,25 ha (450×450 m). (Źródło: Taxus 2010).

Fig. 1. A RGB orthophotomosaic. Figure represents an area of 20.25 hectares (450×450 m). (Source: Taxus 2010).



Ryc. 2. Ortofotomozaika w barwach umownych, utworzona z kanałów G (zielony), R (czerwony) oraz IR (podczerwony). Rycina przedstawia obszar o powierzchni 20,25 ha (450×450 m). (Źródło: Taxus 2010).

Fig. 2. An orthophotomosaic in the false colors made using channels G (green), R (red) and IR (infrared). Figure represents an area of 20.25 hectares (450 × 450 m) (Source: Taxus 2010)

oceny stanu koron sosny zwyczajnej (*Pinus silvestris* L.) (Stereńczak i Będkowski 2013). Zdjęcia z systemu „Avi-1” wykorzystano także z powodzeniem do zbierania danych o zmianach w strukturze drzewostanu rezerwatu dębu bezszypułkowego (Szymański i in. 2014).

Kameralną ocenę stanu drzew przeprowadzono na obrazach, które zostały dostarczone przez wykonawców w postaci ortomozaiki. Proces tworzenia ortomozaiki był w całości zautomatyzowany, a jego podstawę stanowiła metoda korelacji obrazów. Utworzono ortomozaikę RGB, tj. w barwach naturalnych (rys. 1), oraz CIR – w barwach umownych (rys. 2), naśladując zdjęcia spektrostrefowe. Odzworowanie barw nie jest jednakowe w obrębie ortomozaiki, w środkowej części można zauważyć wadę barwną, której przyczyną jest nieuwzględnienie

korekty barw w algorytmie zastosowanym przy składaniu ortomozaiki.

W badaniach wykorzystano ortomozaikę CIR. Ocenę stanu drzew wykonywano wzrokowo – każde drzewo przyporządkowano na podstawie barwy korony do jednej z 5 klas, oznaczonych 0÷4, tak jak w przypadku prac terenowych. Drzewa zdrowe (klasa 0) miały korony purpurowe, wraz ze wzrostem stopnia uszkodzeń obraz koron stawał się jaśniejszy (przez różne odcienie różowego do prawie białego), natomiast korony drzew martwych, pozbawionych aparatu asymilacyjnego, odwzorowane były w kolorze zielonym. Ocena stanu poszczególnych drzew na podstawie zdjęcia odbywała się w dwóch seriach, z kilkudniowym odstępem, w celu sprawdzenia, czy poszczególne obserwacje są porównywalne. Przy

ocenie stanu drzew starano się aby klasyfikować je do właściwych klas kondycji zdrowotnej, pomijając wpływ wady barwnej obrazu. Zatem w przypadku oceny drzew znajdujących się w strefie przebarwienia szukano innych barw, układających się w szereg barwny drzew zdrowych, lekko uszkodzonych, uszkodzonych, silnie uszkodzonych i martwych. To znaczy, że drzewo przebarwione na skutek wady barwnej nie było zaliczane do klasy gorszej. Jednak aby określić ewentualny wpływ przebarwień, materiał badawczy podzielono na dwie części. Do pierwszej zaliczono 70 drzew z północno-zachodniej części drzewostanu (najlepsza jakość obrazu). Drugą część utworzyło 130 pozostałych drzew występujących na obrazie w strefie przebarwień.

## Wyniki

Ocena stanu drzew zarówno w terenie, jak i na podstawie ortomozaiki wykonywana była w pięciostopniowych skalach, możliwe jest zatem bezpośrednio porównywanie obu ocen. Rozkład drzew w poszczególnych stopniach uszkodzeń ustalony na podstawie prac terenowych, z uwzględnieniem ich położenia w różnych strefach obrazu, przedstawiono w tabeli 1. Najwięcej drzew występuje w pierwszej klasie uszkodzeń (korona lekko przerzedzona). Drugą pod względem liczebności grupą są drzewa zdrowe, trzecią drzewa z koroną przerzedzoną, drzew posiadających koronę silnie przerzedzoną i martwych jest najmniej.

Powtarzalność ocen stanu drzew w dwukrotnej wizualnej analizie obrazu przedstawiono w tabeli 2. Udział drzew zaklasyfikowanych identycznie w obu seriach obserwacji wyniósł 53,5%, zaś udział drzew zaklasyfikowanych inaczej – 46,5%, przy czym różnice większe niż jedna klasa stanowią 2,5%. Współczynnik *Kappa*, będący miarą zgodności obydwu klasyfikacji, wynosi 0,34.

Tabela 1. Liczba drzew w stopniach uszkodzeń w dwóch strefach obrazu – z przebarwieniami i bez przebarwień.

Table 1. Trees according to their health classes on two different parts of image – with and without discoloration.

Stopień uszkodzenia drzewa ustalony w terenie <i>The degree of damage to trees established during field work</i>	Liczba drzew w strefach obrazu <i>The number of trees in areas of the image</i>		
	Bez przebarwień <i>No discoloration</i>	Z przebarwieniami <i>With discoloration</i>	Razem <i>Together</i>
0	15	49	64
1	30	43	73
2	18	27	45
3	4	7	11
4	3	4	7
Razem <i>Together</i>	70	130	200

Tabela 2. Rozkład drzew w stopniach zdrowotności na podstawie wizualnej analizy ortomozaiki CIR w pierwszej i drugiej klasyfikacji.

Table 2. Trees in health classes according to the results of visual image classification made twice by an observer.

		Druga ocena <i>The second assessment</i>					Suma <i>Sum</i>
		0	1	2	3	4	
Pierwsza ocena <i>The first assessment</i>	0	15	9	1	0		25
	1	17	53	25	0		95
	2	1	16	25	10	1	53
	3	0	1	3	7	7	18
	4	0	0	1	1	7	9
Suma <i>Sum</i>		33	79	55	18	15	200

Tabela 3. Porównanie średnich ocen dla poszczególnych stopni uszkodzeń, w zależności od położenia drzew w strefach obrazu – bez przebarwień i z przebarwieniami

Table 3. Results of trees health assessment in field and on two different parts of an orthomosaic – with and without discoloration

Stopień uszkodzenia drzewa wg obserwacji w terenie <i>The degree of damage to trees by field observations</i>	Średni wynik dwukrotnej oceny stanu drzew na podstawie ortomozaiki w strefach obrazu <i>Average score twice assessment of trees based on orthomosaic in image areas</i>		
	Bez przebarwień <i>No discoloration</i>	Z przebarwieniami <i>With discoloration</i>	Razem <i>Together</i>
0	1,00	1,27	1,20
1	1,17	1,44	1,33
2	2,14	1,22	1,59
3	2,75	2,21	2,41
4	3,67	3,50	3,57

W celu sprawdzenia jak były oceniane na podstawie obrazów drzewa zakwalifikowane do poszczególnych stopni uszkodzeń określonych w terenie obliczono średnie ocen, dla wszystkich drzew oraz oddzielnie dla drzew odwzorowanych w różnych strefach obrazu – bez przebarwień oraz z przebarwieniami (tab. 3).

Stan drzew zaliczonych w terenie do klas 0, 1 i 2 był określany na podstawie ortomozaiki na ogół jako gorszy niż podczas prac terenowych, natomiast drzewa z klas 3 i 4 otrzymały na obrazie średnie oceny lepsze (tab. 3). W grupie drzew występujących w strefie przebarwienia i zaliczonych w terenie do 2. stopnia uszkodzenia, uzyskana średnia jest niższa od średnich w stopniu 0 i 1. Poza tym przypadkiem wyraźna jest zależność polegająca na tym, że średnie oceny na podstawie obrazu rosną wraz ze wzrostem stopnia uszkodzenia ustalonego w terenie. Można też zauważyć, że najmniejsze różnice pomiędzy stopniem uszkodzenia ustalonym w terenie, a średnią

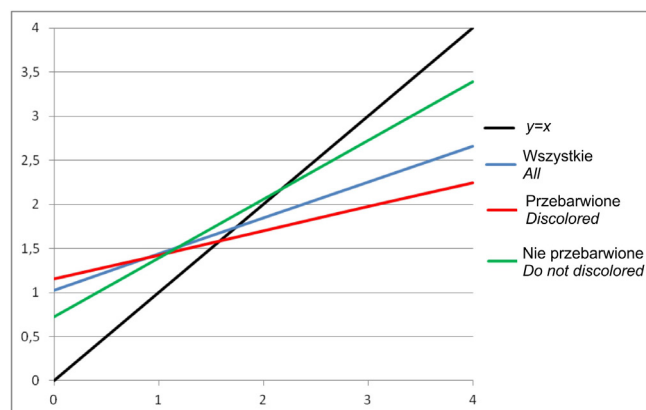
oceną na podstawie obrazu, występują w przypadku drzew leżących na zdjęciu poza strefą przebarwienia.

Zależność pomiędzy stopniem uszkodzenia określonym w terenie a średnią ocen na ortomozaice jest bardzo zbliżona do liniowej (tab. 4, rys. 3). Idealnym przypadkiem byłoby uzyskanie zależności zgodnej z równaniem  $y = x$ . Najbardziej zbliżoną do niej jest linia regresji powstała na podstawie ocen drzew znajdujących się na zdjęciu w miejscu, gdzie nie występowało przebarwienie. Również współczynnik determinacji  $R^2$  ma tutaj najwyższą wartość.

Tabela 4. Równania regresji dla wyników klasyfikacji drzew z różnych stref obrazu.

Table 4. Regression equations for different parts of an orthomosaic – with and without discoloration.

Drzewa Trees	Równanie regresji The regression equation	$R^2$	Wartość dla 0 Value for 0	Wartość dla 4 Value for 4
Wszystkie All	$y = 0,4076x + 1,0285$	0,1874	1,0285	2,6589
Z przebarwionej strefy obrazu From discolored image zone	$y = 0,2735x + 1,1527$	0,0986	1,1527	2,2467
Z strefy bez przebarwień From the zone without discoloration	$y = 0,6677x + 0,7201$	0,383	0,7201	3,3909



Ryc. 3. Porównanie linii regresji uzyskanych dla drzew z różnych części obrazu. Oś pozioma – stopnie uszkodzeń drzew ustalone na podstawie obserwacji wykonanych w terenie, oś pionowa – stopnie uszkodzeń określone na podstawie analizy obrazu.

Fig. 3. Regression lines for trees from different parts of image. There are tree health classes acquired in field on horizontal axis and health classes recognised on image on vertical axis.

## Dyskusja wyników

Badania omawiane w niniejszej pracy prowadzono w okresie intensywnego wiosennego wzrostu świerków, kiedy szczególnie widoczne są różnice rozwoju poszczegól-

nych drzew. Różnice te w badanym drzewostanie są potęgowane przez fakt, że składa się on ze świerków wyhodowanych z nasion zebranych w dziewiętnastu miejscach w Polsce i Niemczech. Drzewa z różnych pochodzeń bardzo często wykazują znaczne różnice tempa przechodzenia do kolejnych faz rozwoju. Przy określaniu stanu zdrowotnego drzew wybiera się zatem zwykle okres, kiedy wszystkie drzewa zakończyły wzrost i ich odwzorowanie na zdjęciach lotniczych jest podobne, a ewentualne różnice są wyrazem ich kondycji zdrowotnej. W Polsce ten okres to dwa miesiące letnie VII i VIII (dla drzew liściastych), który może być wydłużony nawet o kolejne dwa miesiące dla drzew iglastych.

Dodatkowym czynnikiem utrudniającym prawidłowe rozpoznanie stanu drzew była wada ortomozaiki, w postaci przebarwień, które powstały z powodu nieuwzględnienia odpowiedniej korekcji barw w algorytmie korelującym obrazy i składającym ortomozaikę. Wyznaczenie części ortomozaiki z przebarwieniami i bez nich nie jest łatwe. Można zauważyć, że zachodnia część obrazu nie jest przebarwiona, w pozostałej części przebarwienie występuje, ale nie jest jednakowe. Można tam zauważyć plamy (smugi) silnego przebarwienia, które są dobrze widoczne, a także miejsca w których wpływ wady jest słabszy. Rozgraniczanie różnych stopni przebarwienia nie jest łatwe i jednoznaczne, dlatego zdecydowano, że obszary o różnym stopniu przebarwienia będą traktowane jako jeden.

Metoda wizualnej oceny stopnia uszkodzeń zapewniła otrzymanie powtarzalnych wyników, co potwierdzono porównując oceny tych samych drzew wykonane w dwóch niezależnych seriach obserwacji. W 53,5% przypadków obie oceny były identyczne, a w 44% przypadków różnica ocen wynosiła 1, w 5 przypadkach na 200 różnica była większa. Obliczony na podstawie ocen współczynnik *Kappa* przyjmuje wartość 0,34. Należy jednakże pamiętać, że zdjęcia miały stosunkowo dużą rozdzielczość przestrzenną (ok. 10 cm), a ocena drzewa musiała być reprezentatywna dla całej korony. W obrębie korony drzewa bardzo często widoczne były fragmenty z barwami odpowiadającymi innym stopniom uszkodzeń, dlatego ocena dla całego drzewa była ich wypadkową. Inny jest także sposób postrzegania drzew z poziomu terenu, w porównaniu do obserwacji lotniczej. Dlatego też różnicę 1 stopnia pomiędzy ocenami kondycji około połowy i 2 stopni dla ok. 2,5% drzew można uznać za usprawiedliwioną. Dodajmy, że z praktyki teledetekcji znany jest fakt, że wprawni obserwatorzy przy wizualnej interpretacji stanu drzew nie popełniają błędów większych niż jeden stopień.

Różnice pomiędzy średnimi ocenami uszkodzeń w terenie i na podstawie ortomozaiki nie są duże, we wszystkich przypadkach są mniejsze niż pół stopnia. Widoczne przesunięcie ocen – ich zawyżenie, czyli wskazanie gorszego stanu – dla drzew zdrowych i z mniejszymi uszkodzeniami, tj. z klas 0, 1 i 2 oraz zniżenie – wskazanie lepszego stanu w porównaniu do ustalonego w terenie – dla drzew z silnymi uszkodzeniami, z klas 3 i 4 – może mieć uzasadnienie w tym, że obserwator mógł

popępniać błędy tylko w jedną stronę. Nie mógł bowiem wskazać, że drzewo jest bardziej zdrowe od tych, które otrzymały „0” lub jest bardziej uszkodzone niż drzewa martwe, czyli w stopniu „4”. Dla stopni 1, 2 i 3 błąd oceny może być zarówno dodatni, jak i ujemny. Możliwe też, że drzewa, które zostały określone w terenie jako zdrowe, w rzeczywistości miały już pewne objawy chorobowe, które na zdjęciu były łatwiej zauważalne niż w terenie. W przypadku drzew martwych problem jest podobny, jednakże tu występuje wyraźna różnica koloru, a nie tylko jego odcienia i dlatego w przypadku drzew z klasy uszkodzenia „4” ocena jest dokładniejsza. Niezauważenie na zdjęciach uszkodzeń silniejszych u części drzew może wynikać też z faktu, że ubytek aparatu asymilacyjnego mógł być maskowany przez odbicie promieniowania (obraz) od części koron znajdujących się poniżej miejsc, w których występowały uszkodzenia. Obserwatorzy w terenie koncentrowali się na objawach występujących w części wierzchołkowej drzew, podczas gdy niższe części koron mogły nie mieć uszkodzeń.

Rozbieżność wyników z terenu i zdjęcia jest nieznacznie większa w przypadku drzew obserwowanych na przebarwionej części ortomozajki. Zauważalne jest, że obserwator miał w tych warunkach trudności z odpowiednim odczytaniem stopni uszkodzeń, co wyraża się w małym nachyleniu linii regresji (rys. 3). Różnice pomiędzy liniami regresji odpowiadającymi kolejnym wariantom doświadczenia są wyraźne, a linią najbardziej zbliżoną do oczekiwanej jest ta przedstawiająca zależność dla drzew spoza strefy przebarwienia. W przypadku drzew odwzorowanych w strefie przebarwienia oceny stopnia uszkodzeń na zdjęciach nieznacznie tylko rosną wraz ze wzrostem stopnia uszkodzenia stwierdzonego w terenie. Spowodowane jest to błędnym zinterpretowaniem barw w obrębie przebarwienia na zdjęciu. Prawdopodobnie szukając szeregu barw dla kolejnych stopni uszkodzeń, barwa drzew średnio uszkodzonych została zinterpretowana jako barwa drzew zdrowych. W tym przypadku jest to ewidentnie negatywny wpływ przebarwienia zdjęcia na ocenę stanu drzew. Niewykluczone, że ocena innego obserwatora byłaby dokładniejsza, ponieważ mogłyby on inaczej zinterpretować tę barwę. Przebarwienie występujące na zdjęciu utrudnia interpretację, a także ma wpływ na uzyskiwane wyniki.

Na zakończenie podkreślić należy, że mimo iż korzystano ze zdjęć wykonanych w niekorzystnej porze roku (intensywny rozwój drzew) i dotyczyły one lasu składającego się z drzew o różnym pochodzeniu, co wyraża się w różnym tempie zjawisk fenologicznych, uzyskano wyniki o dużej zgodności oceny terenowej i na podstawie obrazu. W przypadku drzew znajdujących się poza strefą przebarwienia oceny na podstawie zdjęcia były zbliżone do stopnia uszkodzenia określonego w terenie. Przelamano po części obowiązujący w teledetekcji leśnej paradygmat konieczności wybierania terminów wykonywania zdjęć wyłącznie w okresie lata. Występujące na zdjęciach przebarwienia utrudniają interpretację obrazu i mają wpływ na prawidłową ocenę stopnia uszkodzenia

drzew. Wydaje się jednak, iż można oczekiwać, że obserwatorzy będą w stanie nauczyć się poprawnie odróżniać drzewa w różnych stopniach uszkodzeń także w strefach przebarwień. Zdjęcia wykonane za pomocą zmodyfikowanych kamer niemetrycznych przenoszonych przez bezzałogowe statki powietrzne, przetworzone do postaci ortomozajki, mogą być z powodzeniem wykorzystywane do oceny stopnia uszkodzenia drzew i drzewostanów świerkowych.

## Literatura

- AKÇA A., PAHL A., SETJE-EILERS U., 1991. *Analytische Auswertung von Luftbildzeitreihen zum Nachweis von Veränderungen in Waldbeständen*. [in:] Oesten G., Kunz S., Gross C.P.: Fernerkundung in der Forstwirtschaft. Stand und Entwicklungen. Wichmann, Karlsruhe: 32-42.
- BARSZCZEWSKI W., 1991. *Próba oceny zdrowotnego stanu drzewostanów dębowych w Nadleśnictwie Krotoszyn w oparciu o spektrostrefowe zdjęcia lotnicze*. Sympozjum Naukowe „60-lecie Polskiego Towarzystwa Fotogrametrycznego”, Warszawa 22-24 maja, cz. III: 7-12.
- BĘDKOWSKI K., STEREŃCZAK K., 2013. *Koncepcja quasi-obiektowej analizy wielospektralnych zdjęć lotniczych i jej zastosowanie do analizy składu gatunkowego drzewostanów*. Roczniki Geomatyki T. X, z. 5(55), s. 19-26.
- BĘDKOWSKI K., STEREŃCZAK K., 2013. *Sessile oak (Quercus petraea (Mattuschka) Liebl.) trees variability according to an analysis of multispectral images taken from UAV – first results*. Ecological Questions 17, s. 25-33.
- BYCHAWSKI W., 1980. *Zastosowanie lotniczych zdjęć spektrostrefowych do określania stref przemysłowego zagrożenia drzewostanów sosnowych*. Prace Instytutu Geodezji i Kartografii T. XXVII, z. 3(66), s. 27-84.
- 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 T. XXV, z. 2/59, s. 5-29.
- BYCHAWSKI W., IRACKA M., ZAWIŁA-NIEDŹWIECKI T., 1984. *Metodyka określania zdrowotnego i sanitarnego stanu lasu na podstawie spektrostrefowych zdjęć lotniczych. Opis technologiczny*. Instytut Geodezji i Kartografii. Ośrodek Przetwarzania Obrazów Lotniczych i Satelitarnych, Warszawa.
- DMYTERKO E., BRUCHWALD A., 2007. *Kryteria określania uszkodzenia świerka*. Sylwan 6, s.12-23.
- 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.
- FELDKÖTTER C., HENJES M., LUCASCHEWSKI I., 1995. *Analytische Auswertung einer CIR-Luftbildzeitreihe zum Nachweis von Veränderungen der Vitalitäts- und Wachstumsparameter eines Fichten-Kalkungsversuchs*. [in:] Beisch T., Akça A., Komp K.U.: Fernerkundung und



- Geo-Informationssysteme in der Ökologie der Landoberfläche, Göttingen: 49-62.
- GRENZDÖRFFER G. J., ENGELB A., TEICHERT B., 2008. *The photogrammetric potential of low-cost UAVs in forestry and agriculture*. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVII, Part B1.
- IRACKA M., 1981. *Zastosowanie fotointerpretacji do oceny zasięgu i nasilenia zniszczeń drzewostanów spowodowanych gradacją brudnicy mniszki (*Lymantria monacha* L.)*. Biul. Informac. BOINTiE Geodezji i Kartografii T. XXVI, nr 2, s. 20-22.
- IRACKA M., 1991. *Inwentaryzacja stanu lasu na podstawie zdjęć lotniczych*. [w:] 60-lecie Polskiego Towarzystwa Fotogrametrycznego. Sympozjum Naukowe, Warszawa, 22-24.V.1991 r., Cz. III. Polskie Towarzystwo Fotogrametrii i Teledetekcji. Sekcja Naukowa Stowarzyszenia Geodetów Polskich, s. 49-54.
- JANKOWICZ B., 2010. *Fotogrametryczne niskopułapowe naloły 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.
- MOZGAWA J., 1977. *Teledetekcyjna metoda badania obszarów leśnych*. Sylwan T. CXXI, z. 5, s. 33-40.
- 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.
- PLUTECKI W., ZMARZ A., SANKO I., 2013. *A truly photogrammetric UAV*. GIM International 4, s. 39-41.
- ROBASZKIEWICZ A., BĘDKOWSKI K., BURACZYK W., SZYMAŃSKI P., KWAŚNY Ł., 2014. *Pilotażowe badania nad wykorzystaniem zdjęć lotniczych z bsp do oceny jakości Świerka (*Picea abies* Karst.)*. Studia i Materiały Centrum Edukacji Przyrodniczo-Leśnej R. 16, z. 41/4, s. 346-355.
- RUDZKI K., BARSZCZEWSKI W., 2007. *Pracownia Fotogrametrii*. [W:] Zajączkowski S. (red.), 50 lat Biura Urządzenia Lasu i Geodezji Leśnej w służbie polskiego leśnictwa, Ośrodek Rozwojowo-Wdrożeniowy Lasów Państwowych w Bedoniu, Wyd. I, Warszawa, s. 70-82.
- STEREŃCZAK K., BĘDKOWSKI K., 2013. *Assessment of the Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) crowns density based on multispectral images obtained by unmanned aerial vehicle*. Ecological Questions 17, s. 89-99.
- SUGIURA R., NOGUCHI N., ISHII K., 2005. *Remote-sensing Technology for Vegetation Monitoring using an Unmanned Helicopter*. Biosystems Engineering 90(4), s. 369-379.
- 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.
- SZYMAŃSKI P., ROBASZKIEWICZ A., BĘDKOWSKI K., BRACH M., KWAŚNY Ł., 2014. *Fotogrametryczny monitoring drzewostanu dębu bezszypułkowego (*Quercus petraea* Liebl.) w rezerwacie "Zimna Woda" w Rogowie*. Studia i Materiały CEPL w Rogowie, R. 16. z. 41(4), s. 335-345.
- TAXUS, 2010. *Wykorzystanie obrazów wielospektralnych wykonanych z bezzałogowych statków latających (BSL) do zastosowań w badaniu stanu środowiska na przykładzie inwentaryzacji uszkodzeń biotycznych w lasach*. Projekt celowy nr ZR6 2009C/07320, Taxus SI Sp. z o.o., Warszawa.
- WOLINOWSKI P., 2011. *Ocena przydatności zdjęć lotniczych wykonanych przez samoloty bezzałogowe do oceny stanu zdrowotnego świerka pospolitego. Wpływ wady barwej występującej na zdjęciu na wyniki klasyfikacji drzew*. Katedra Urządzenia Lasu, Geomatyki i Ekonomiki Leśnictwa, SGGW w Warszawie (praca inżynierska).
- ZMARZ A., 2009. *Application of UAV in Polish Forestry to Acquire Image Data*. Annals of Geomatics Vol. VII, no. 2(32), s. 143-146.
- ZMARZ A., 2011. *Zastosowanie bezzałogowych statków latających do pozyskania danych obrazowych o lesie*. Katedra Urządzenia Lasu, Geomatyki i Ekonomiki Leśnictwa, SGGW w Warszawie (rozprawa doktorska).
- ZMARZ A., BĘDKOWSKI K., MIŚCICKI S., PLUTECKI W., 2012. *Ocena stanu zdrowotnego świerka na podstawie analizy zdjęć wielospektralnych wykonanych fotograficznymi aparatami cyfrowymi przenoszonymi przez bezzałogowy statek latający*. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, Vol. 23, s. 541-550.
- ZMARZ A., PLUTECKI W., 2010. *Opracowania fotogrametryczne ze zdjęć wykonywanych niometrycznym aparatem cyfrowym z pokładu modelu latającego – pierwsze przykłady*. Roczniki Geomatyki T. VIII, z. 7(43), s. 91-95.



**Inż. Paweł WOLINOWSKI**, ukończył Technikum Leśne w Białowieży, a następnie studia I stopnia na Wydziale Leśnym SGGW w Warszawie. Obecnie prowadzi własną działalność gospodarczą. E-mail: wolinowskipawel@gmail.com

**Eng. WOLINOWSKI Paweł**, left Forest Technical Vocational School in Białowieża, and then studies of the first degree at Faculty of Forestry, Warsaw University of Life Sciences – SGGW in Warsaw. At present he is conducting the own business activity. E-mail: wolinowskipawel@gmail.com



**Dr hab. inż. Krzysztof BĘDKOWSKI**, ukończył Technikum Leśne w Brynku, następnie studia na Wydziale Leśnym SGGW-AR w Warszawie. Zajmuje się zastosowaniem fotogrametrii i teledetekcji w ocenie stanu roślinności wysokiej – lasów, zadrzewień i parków miejskich – budowy pionowej i poziomej, składu gatunkowego, kondycji. Do 2015 r. zatrudniony w Zakładzie Geomatyki i Gospodarki Przestrzennej Wydziału Leśnego SGGW w Warszawie. Obecnie na stanowisku profesora nadzwyczajnego w Zakładzie Geoinformacji Wydziału Nauk Geograficznych Uniwersytetu Łódzkiego.

E-mail: [krzysztof.bedkowski@geo.uni.lodz.pl](mailto:krzysztof.bedkowski@geo.uni.lodz.pl)

**Associate Professor Dr. Eng. Krzysztof BĘDKOWSKI**, left the Forest Technical Vocational School in Brynek, next studies at Faculty of Forestry, Warsaw Agricultural University (SGGW-AR), later renamed to Warsaw University of Life Sciences – SGGW. He is dealing with applying photogrametry and the remote sensing in the evaluation of the state of the high flora – of forests, afforesting and urban parks – their vertical and horizontal construction, species composition, condition. To 2015 employed at the Unit of Geomatics and Spatial Management, Faculty of Forestry, Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Warsaw. At present on the position of the associate professor at the Unit of Geoinformation, Faculty of Geographical Sciences, University of Łódź. E-mail: [krzysztof.bedkowski@geo.uni.lodz.pl](mailto:krzysztof.bedkowski@geo.uni.lodz.pl)