

Pilotażowe badania nad wykorzystaniem zdjęć lotniczych z bsp do oceny stanu zdrowotnego świerka *Picea abies* Karst.

Adam Robaszekiewicz, Krzysztof Będkowski, Włodzimierz Buraczyk, Paweł Szymański, Łukasz Kwaśny

Abstrakt: W badaniach wykorzystano zdjęcia lotnicze 42-letniego drzewostanu świerkowego wykonane za pomocą niemetrycznych aparatów cyfrowych przenoszonych przez bezzałogowy statek latający. Drzewostan świerkowy składał się z drzew różnych proveniencji, został założony w celu oceny ich przydatności hodowlanej. Aparaty cyfrowe rejestrowały zakresy promieniowania widzialnego (niebieskie, zielone, czerwone) oraz bliską podczerwień (do ok. 1100 nm). Zdjęcia zostały przetworzone do postaci ortomozaik w barwach naturalnych oraz zbliżonych do znanych zdjęć spektrostrefowych. Na podstawie wizualnej analizy barwy koron drzew na zdjęciach określono stan zdrowotny drzew, przydzielając je do czterech klas zdrowotności. W terenie w trakcie pomiaru cech morfologicznych również zaklasyfikowano drzewa do czterech klas zdrowotności. Stwierdzono, że obydwie metody oceny kondycji świerków dały podobne rezultaty. Wyniki wskazują, że zdjęcia lotnicze mogą być z powodzeniem wykorzystane do analizy kondycji drzew.

Słowa kluczowe: bezzałogowy statek powietrzny, teledetekcja, świerk, ocena stanu zdrowotnego.

Abstract. The Pilot study on the use of aerial photographs from bmp to assess the state health of spruce *Picea abies* Karst. The study used aerial photos of 42-year-old spruce stand, made using non-metric digital cameras carried by unmanned aerial vehicle. Spruce forest stand composed of trees of different provenances, was founded in order to assess their suitability culture. Digital non-metric cameras recorded the ranges of visible light (blue, green, red) and near infrared (up to 1100 nm). The images were processed to form orthomosaic – RGB and close to the famous CIR-images. On the basis of visual analysis of tree crowns on the color photographs set the state of health of trees, assigning them to the four classes of health. In the field during the measurement of morphological features, the trees were classified into four classes of health. It was found that both methods of assessing the condition of spruce showed similar results. The results indicate that aerial photographs can be successfully used to analyze the condition of the trees.

Key words: Comparison of norway spruce *Picea abies* Karst. health assessment by means of UAV-image's analysis and field survey.

Wstęp

Zdjęcia lotnicze są cenionym źródłem informacji o lesie. Są wykorzystywane do taksacji, inwentaryzacji zapasu oraz oceny stanu zdrowotnego lasów. Wykazano szczególną przydatność, do oceny kondycji lasów, analogowych zdjęć spektrostrefowych, które rejestrują promieniowanie z zakresu bliskiej podczerwieni. W tym zakresie promieniowania zmiany stanu zdrowotnego drzew są szczególnie dobrze widoczne. Opracowano i zastosowano praktycznie, w kraju i za granicą, technologie inwentaryzacji stanu lasu, w których wykorzystuje się związek pomiędzy stanem zdrowotnym drzew oraz ich barwą na zdjęciu lotniczym. Obserwowane zmiany mogą być powodowane przez różne czynniki biotyczne i abiotyczne. Drzewa wykazują widoczne na zdjęciach zmiany w obrębie koron (ubytek aparatu asymilacyjnego i zmiany jego zabarwienia) najczęściej na skutek emisji przemysłowych lub ataku owadów (Bychawski, Iracka, 1978; Bychawski, 1980), chorób (Barszczewski 1981, Tepassee 1987). Widoczne mogą być także zmiany będące reakcją drzew na zastosowane nawożenie (Feldkötter i in. 1995, Akça i in. 1981).

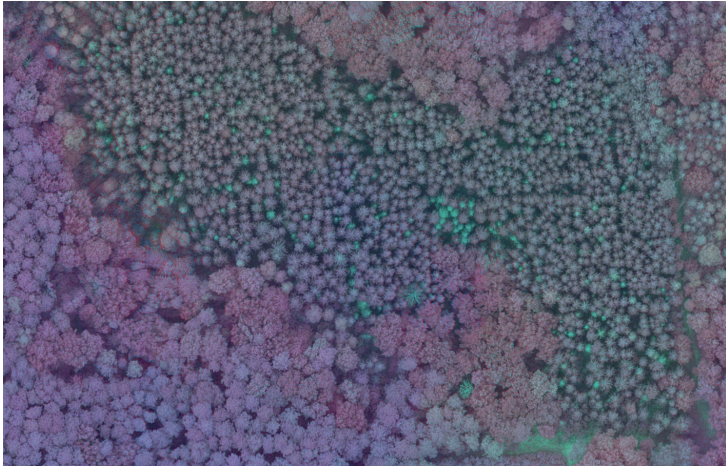
Amatorskie kamery cyfrowe, po niewielkiej ingerencji w ich budowę, umożliwiają wykonywanie zdjęć w zakresie bliskiej podczerwieni. Po złożeniu z obrazami rejestrującymi promieniowanie z zakresów zielonego i czerwonego uzyskuje się mozaiki barwne bardzo podobne do analogowych zdjęć spektrostrefowych. Małe kamery cyfrowe mogą być przenoszone przez bezzałogowe statki powietrzne. Powstaje w ten sposób efektywny system pozyskiwania obrazów z poziomu lotniczego, który może być wykorzystany do rejestracji stanu środowiska przyrodniczego, w tym do oceny stanu lasów. Systemy te rozwijane są zarówno w ośrodkach zagranicznych (Feldkötter et al. 1995, Sugiera et al. 2005, Eisenbeiss, 2008; Eugster, Nebiker, 2008; Everaerts, 2008, Nebiker et al. 2008), jak i w kraju (Szczechowski, 2008; Jankowicz, 2010; Królikowski, 2011; Zmarz, 2011, Zmarz et al. 2012). Znalazły zastosowanie na potrzeby rolnictwa i leśnictwa (Sugiera et al. 2005, Grenzdörffer et al. 2008; Berni et al. 2009, Plutecki et al. 2013).

Kamery umożliwiające pozyskiwanie zdjęć w zakresach promieniowania widzialnego i bliskiej podczerwieni skonstruowano w Katedrze Urządzania Lasu, Geomatyki i Ekonomiki Leśnictwa SGGW w Warszawie (Zmarz 2011). W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań nad przydatnością zdjęć uzyskanych za pomocą tych kamer do oceny stanu zdrowotnego drzew świerka pospolitego.

Obiekt badań

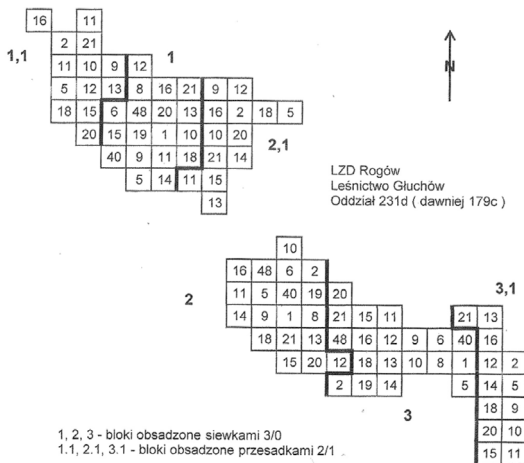
Badania dotyczą 42-letniego drzewostanu świerkowego *Picea abies* Karst., który został założony z wykorzystaniem sadzonek wyhodowanych z nasion świerków pochodzących z różnych rejonów kraju i Niemiec. Doświadczenie składa się z bloków losowych założonych w trzech powtórzeniach, po 3 bloki (ryc. 1). Potomstwo jednego pochodzenia w ramach każdego bloku zostało posadzone na działkach o wymiarach 15 × 15 m, w więźbie 1,5 × 1,5 m.

Do założenia uprawy użyto 3-letniego materiału sadzeniowego. Materiał do doświadczenia IUFRO 1972 zebrano w dwóch sezonach wegetacyjnych: 1965/66 i 1971/72) o symbolu produkcyjnym 3/0 (sadzonki trzyletnie nieszkółkowane) oraz 2/1 (sadzonki trzyletnie szkółkowane po dwóch latach). Badania dotyczące przydatności do hodowli w lokalnych warunkach objęły 19 rodzimych pochodzeń i dwa z terenu Niemiec (ryc. 2).



Ryc. 1. Powierzchnia doświadczenia proveniencyjnego na ortomosaice wykonanej z użyciem kanału podczerwonego

Fig. 1. The area of provenance research on ortomosaic made using infrared channel



Pochodzenia:

- | | |
|--------------------------------|-----------------------------|
| 1 - Zwierzyniec Białowieski I | 14 - Rycerka Praszywka I |
| 2 - Zwierzyniec Białowieski II | 15 - Rycerka Praszywka II |
| 5 - Borki | 16 - Orawa |
| 6 - Nowe Ramuki | 18 - Tarnawa |
| 8 - Międzygórze | 19 - Zwierzyniec Lubelski |
| 9 - Stronie Śląskie | 20 - Bliżyn |
| 10 - Wisia | 21 - Kartuzy |
| 11 - Istebna Bukowiec | 22 - Westernhof (40) RFN I |
| 12 - Istebna Zapowiedź | 23 - Westernhof (48) RFN II |
| 13 - Rycerka Zwardoń | |

Ryc. 2. Schemat powierzchni proveniencyjnej

Fig. 2. Schematic of the surface of provenance

Metodyka badań

Materiał zdjęciowy do badań pochodził z nalotu wykonanego bezzałogowym statkiem powietrznym w lipcu 2010 roku. Wykonano (Zmarz 2010) ortomozaiki wykorzystujące kanały promieniowania widzialnego – czerwonego R, zielonego G i niebieskiego B oraz G, R i bliską podczerwień IR (ryc. 1). Na podstawie dokładnej analizy treści ortomozaik określono stan zdrowotny 614 drzew różnych proveniencji, zaliczając każde z nich do jednej z klas:

- 1 – drzew zdrowych, o koronach bez oznak osłabienia aparatu asymilacyjnego i prześwietleń koron zarówno na podstawie ogólnego wyglądu korony, jak i przebarwienia na zdjęciach z wykorzystaniem podczerwieni na kolor czerwony;
- 2 – lekko osłabionych, z widocznym lekkim ubytkiem aparatu asymilacyjnego oraz mniej intensywnym, niż w przypadku drzew zdrowych odcieniem czerwieni;
- 3 – silnie osłabionych, z wyraźnym ubytkiem aparatu asymilacyjnego, posiadające w obrębie korony przebarwienia w kolorze zielonym – odpowiadającym martwym częściom roślin;
- 4 – martwych, widocznych na filmie z wykorzystaniem podczerwieni na zielono.

Na podstawie wyników, możliwe było uszeregowanie proveniencji wg ich zdrowotności, co ujęte zostało na wykresie 1. Ranking proveniencji oparto na wskaźniku zdrowotności (wzór 1).

$$V = \frac{\sum_{i=1}^n n_i \times i}{\sum_{i=1}^n n_i}$$

V = współczynnik zdrowotności

i = {1, 2, 3, 4} – symbole klas zdrowotności

n – liczba drzew

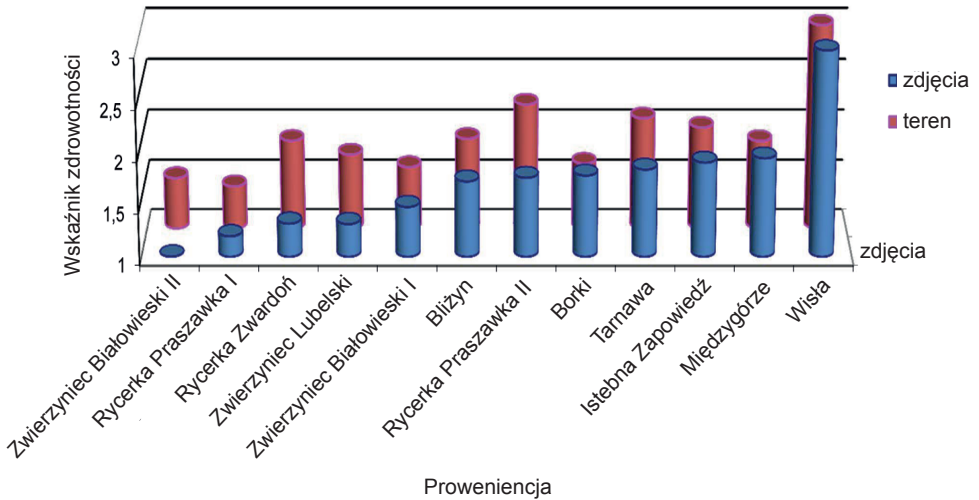
Wzór 1. Wzór na obliczanie współczynnika zdrowotności

Formula 1. Formula for calculating the state of health of trees

Do porównania zdrowotności koron odczytanej na podstawie zdjęć lotniczych została wykorzystana ocena stanu zdrowotnego świerków z gruntu, wykonywana dodatkowo w trakcie pomiarów cech morfologicznych. Badania terenowe przeprowadzono kilka miesięcy wcześniej, niż zdjęcia lotnicze. Z gruntu wykonano kompleksowe pomiary, co pozwala w szerszym zakresie analizować zmienność świerków 19 pochodzeń, gdzie zdrowotność jest jednym z najważniejszych kryteriów przy ocenie wartości hodowlanej potomstwa badanych proveniencji. Do oceny stanu zdrowotnego koron świerków z gruntu zastosowano klasyfikację opartą o następujące klasy zdrowotności: 1 – drzewa o koronach zdrowych, 2 – lekko osłabionych, 3 – silnie osłabionych, 4 – martwych.

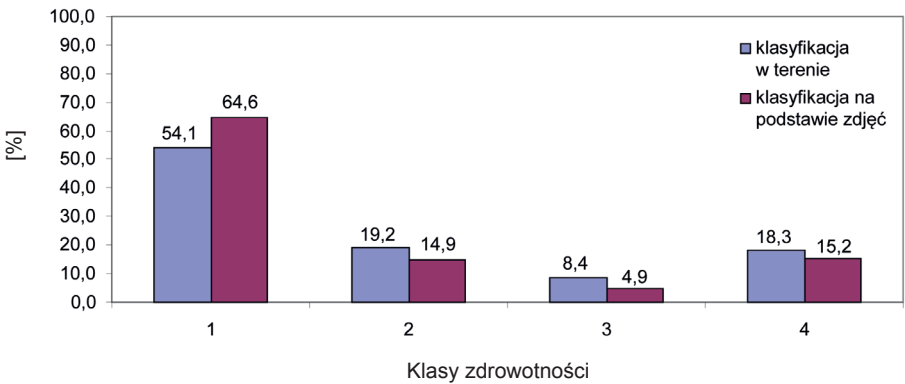
Wyniki

Do doświadczenia zakwalifikowano 614 drzew 13 pochodzeń rosnących w południowej części powierzchni proveniencyjnej. Dla proveniencji – na podstawie współczynnika zdrowotności – stworzono ranking proveniencji, uwzględniając wyniki klasyfikacji w terenie i ze zdjęć, uznając wyniki oceny terenowej za poziom odniesienia. Pomimo różnic w poszczególnych proveniencjach zauważalny jest podobny trend rankingu dla dwóch metod oceniania stanu zdrowotnego. Na uwagę zasługuje fakt, że ocena na podstawie analizy zdjęć (ryc. 3) wykazywała lepszy stan zdrowotny drzewostanów świerkowych.



Ryc. 3. Ranking proveniencji na podstawie wskaźnika zdrowotności
Fig. 3. Provenances ranking based on the state of health of trees

Interpretacja procentowego rozkładu drzew w poszczególnych klasach zdrowotności wykazała niewielkie różnice procentowe licznosci klas dla dwóch sposobów interpretacji: 3,1% – klasa 4, 3,5% – klasa 3, 4,3% – klasa 2 i największa różnica 10,5% – klasa 1 (ryc. 4).

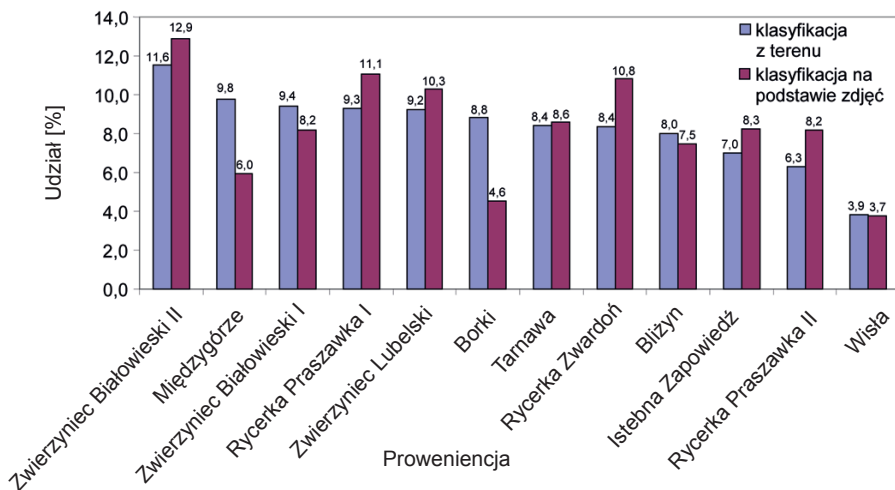


Ryc. 4. Procentowy udział drzew w poszczególnych klasach zdrowotności
Fig. 4. Percentage of trees in each class of the state of health of trees

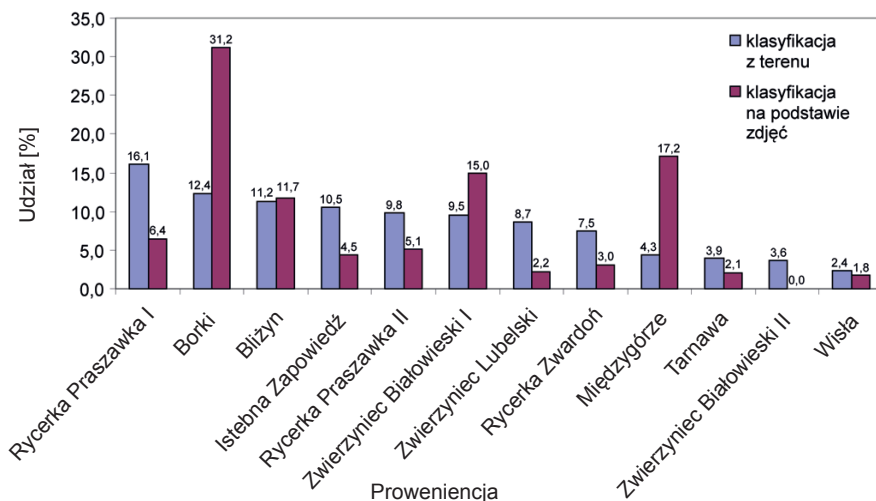
Dla każdej klasy zdrowotności wykonano analizę procentowego udziału liczby drzew z podziałem na poszczególne proveniencje (ryc. 5–8). Klasa drzew zdrowych – 1 – charakteryzowała się małą różnicą pomiędzy udziałem drzew obliczonym dla dwóch metod oceny stanu

zdrowotnego (ryc. 5). Zawierała się w przedziale od 0,5% dla pochodzenia Bliżyn do 4,3% dla Borki.

W klasie drzew lekko osłabionych przez czynniki chorobowe – 2 – różnice przeważnie zawierają się w przedziale od: 0,5% – Bliżyn, do 6,5% – Zwierzyniec Lubelski. Największe różnice odnotowano dla pochodzeń: Rycerka Praszawka I – 9,7%, Międzygórze – 12,9% oraz Borki – 18,8% (ryc. 6).

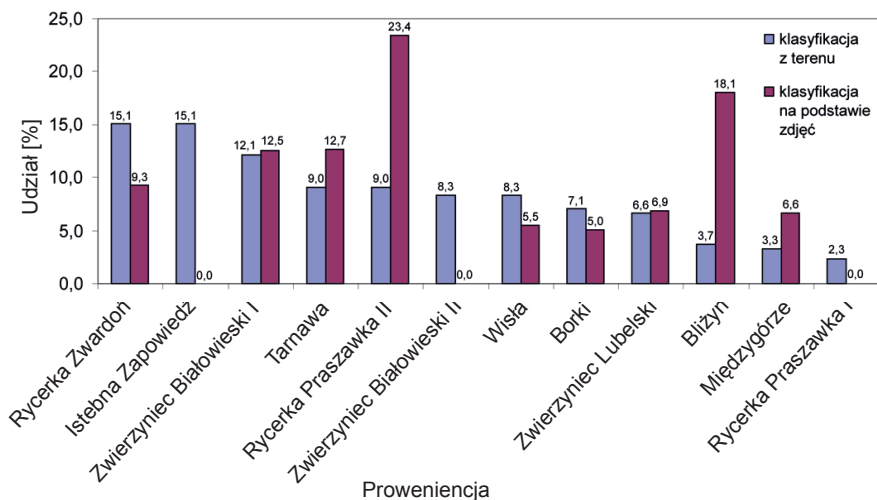


Ryc. 5. Procentowy udział drzew 1 klasy zdrowotności dla poszczególnych prowieniec
Fig. 5. Percentage of first class of the state of health of trees for each provenance

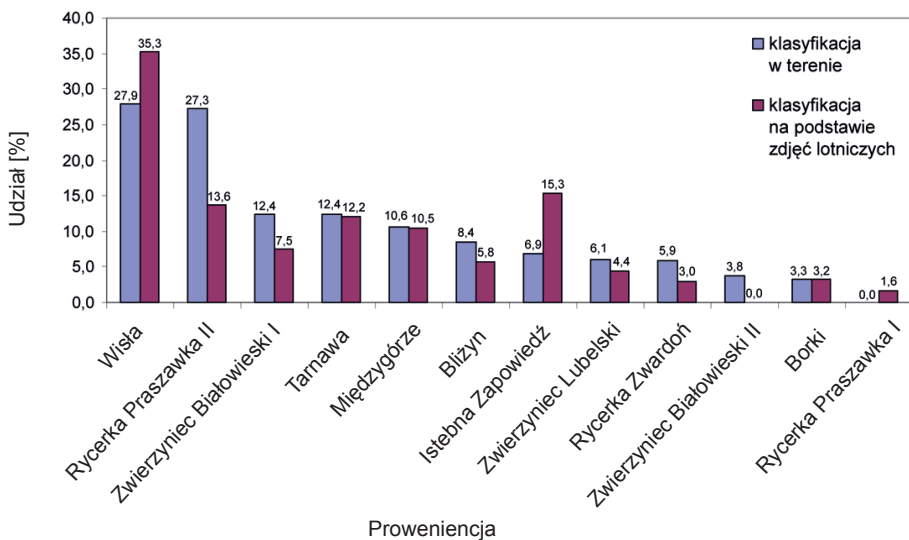


Ryc. 6. Procentowy udział drzew 2 klasy zdrowotności dla poszczególnych prowieniec
Fig. 6. Percentage of second class of the state of health of trees for each provenance

Różnice w liczbie drzew dla poszczególnych pochodzeń w klasie drzew mocno osłabionych – 3 – zawierają się w przedziale od 0,3% dla Zwierzynca Lubelskiego, osiągając maksymalną różnicę 15,1% dla proveniencji Istebna Zapowiedź (ryc. 7).



Ryc. 7. Procentowy udział drzew 3 klasy zdrowotności dla poszczególnych proveniencji
Fig. 7. Percentage of third class of the state of health of trees for each provenance



Ryc. 8. Procentowy udział drzew 4 klasy zdrowotności dla poszczególnych proveniencji
Fig. 8. Percentage of fourth class of the state of health of trees for each provenance

Klasa drzew martwych – 4 – podobnie jak w przypadku poprzednich klas, różnice w procentowej liczbie drzew między oceną z terenu a ze zdjęć na poziomie kilku procent: od 0,1% – Borki, poprzez 8,4% – Istebna Zapowiedź, osiągając maksymalną różnicę w tej klasie: 13,7% – Rycerka Praszawka II (ryc. 8).

Dyskusja wyników

Na podstawie analizy zdjęć stwierdzono, że istnieją różnice w stanie zdrowotnym drzew pomiędzy poszczególnymi proveniencjami.

Mimo dużego zróżnicowania wewnątrz doświadczenia materiał zdjęciowy dostarczył istotnych i łatwych w pozyskaniu informacji na temat stanu zdrowotnego drzew. Bardzo wyraźnie i jednoznacznie wskazać można drzewa w pełni zdrowe i martwe. Trudniejsze jest przydzielenie do odpowiednich grup drzew z różnym nasileniem objawów chorobowych. Wykazano, że ranking proveniencji oparty na wskaźniku zdrowotności opartym zarówno na klasyfikacji ze zdjęć lotniczych, jak i obserwacji w terenie jest zgodny i wykazuje zbliżony trend.

Ze względu na możliwość oceny bardzo dużej powierzchni korony każdego drzewa metodą oceny zdrowotności drzew tym sposobem należy uznać za przydatną do celów oceny stanu drzewostanów świerkowych.

Wpływ na integralność spostrzeżeń mógł mieć fakt, że klasyfikacja stanu zdrowotnego była prowadzona przez dwóch obserwatorów niemających ujednoczonego sposobu klasyfikacji – mimo zbieżnej skali oceny drzew. Obserwator klasyfikujący stan zdrowotny drzew na podstawie zdjęć z góry założył, na podstawie jakiej ilości zróżnicowania pikseli klasyfikować będzie do klasy 2 i 3 (dwa stany pośrednie, wymagające jednocześnie znalezienia punktu rozdzielającego). Obserwator w terenie przyjął tę samą liczbę klas, również i w tym przypadku przydzielenie do klas pośrednich stanu zdrowotnego poszczególnych drzew następczo więcej trudności niż przydzielenie do klas drzew zdrowych i martwych.

Klasyfikacja na podstawie materiału fotograficznego została wykonana przez jedną osobę, wnosząc tym samym w wyniki analiz dużą dozę subiektywności.

W przyszłości prace będą kontynuowane, rozszerzane na całą powierzchnię doświadczenia proveniencyjnego i o dodatkowe analizy służące poznaniu zmienności osobniczej w każdej proveniencji. Poprzedzone zostaną próbą ujednoczenia klasyfikowania drzew przez interpretatorów, poprzez wyjazd w teren i wskazanie drzew modelowych w poszczególnych klasach, a następnie odnalezienie ich na zdjęciu i zakwalifikowaniu do tej samej grupy drzew.

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.

- 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.
- 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 UAV's in forestry and agriculture. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVII, Part B1.
- Gunia S. 2006. Badania proveniencyjne sosny zwyczajnej, świerka pospolitego i jodły pospolitej prowadzone w Katedrze Hodowli Lasu SGGW, . Sabor Janusz 2006. Elementy genetyki i hodowli selekcyjnej drzew leśnych. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, s. 181–197.
- Gunia S., Żybura H. 2006. Rody i pochodzenia świerka pospolitego (*Picea abies* (L.) Karst.) z terenu Polski na powierzchniach porównawczych w LZD Rogów. Konferencja Naukowa „Genetyczna i hodowlana wartość polskich populacji świerka z zasięgu północno-wschodniego”, Augustów, Knyszyn, Czarna Białostocka, s. 135–154.
- Jankowicz B. 2010. Fotogrametryczne niskopłapowe 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.
- Matras J. 2006. Zmienność wewnątrzgatunkowa świerka w doświadczeniu IUFRO 1972., Sabor Janusz 2006. Elementy genetyki i hodowli selekcyjnej drzew leśnych. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, s. 159–169.
- Plutecki W., Zmarz A., Sanko I. 2013. A truly photogrammetric UAV. *GIM International* 4: 39–41.

- 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.
- Tepasse P. 1987. Untersuchungen zur Korrelation von terrestrischen und aeralen Daten des Waldzustandes. DFVLR Tagungsband, 2. DFVLR Statusseminar „Untersuchung und Kartierung von Waldschäden mit Methoden der Fernerkundung“, München: 385–394.
- 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: 541–550.
- 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).

**Adam Robaszkiewicz¹, Krzysztof Będkowski¹, Włodzimierz Buraczyk²,
Paweł Szymański¹, Łukasz Kwaśny¹**

¹Katedra Urządzenia Lasu, Geomatyki i Ekonomiki Leśnictwa

²Katedra Hodowli Lasu, Wydział Leśny

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

a.robaszkiewicz@wl.sggw.pl,

krzysztof.bedkowski@wl.sggw.pl,

wlodzimierz.buraczyk@wl.sggw.pl,

p.szymanski@wl.sggw.pl,

lukasz.kwasny@wl.sggw.pl