



Rozpoznawanie jesiennych faz fenologicznych dębu bezszypułkowego (*Quercus petraea* Liebl.) na ortomozaikach zdjęć lotniczych uzyskanych z wykorzystaniem drona

*Monitoring of sessile oak (*Quercus petraea* Liebl.) autumn phenology
using orthomosaics made on a basis of aerial images
acquired with drone*

Antoni ŁOZIŃSKI

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
Wydział Leśny
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa
antekloz92@gmail.com

Krzysztof BĘDKOWSKI

Uniwersytet Łódzki, Wydział Nauk Geograficznych
Instytut Geografii Miast i Turystyki, Zakład Geoinformacji
ul. Kopcińskiego 31, 90-142 Łódź
krzysztof.bedkowski@geo.uni.lodz.pl

Abstract

Changes to beginning and the length of the growing season and the phenological stages can be of great importance for the individual trees, their populations and the populations of other species. The aim of the research described in this paper is to assess the ability to recognize the autumn phenological phases in single trees of the sessile oak, using UAV images. In our study we have examined if we can on this basis rank the trees according to their preparation for winter dormancy. There were 20 observers involved in the research whose objective was to pass each of 114 trees to one of five classes, based on the dominant color of assimilation apparatus observed on an orthomosaic. Distinguished color classes of oaks were: 1 – green, 2 – greenish-yellow, 3 – yellow, 4 – yellow-brown and 5 – brown.

The analysis revealed that only 6 of all trees (5 green and one greenish-yellow) were classified by all observers to the same group. Other trees were classified to different colors, and in the case of 25 trees (22%), the number of the same color indicated was less than or at most equal to 12. The applied color scale did not correspond fully to colors perceived by the participants. After completion of the study, all said they ran out of green-brown color, and the crowns of trees that could be assigned to that color, were therefore classified as greenish-yellow, yellow or yellow-brown. In further research it is necessary to explain the causes of green-brown color observed in some trees, as well as its natural meaning and place in a chain of crown colors changes taking place during autumn, using methods of digital image analysis.

Key words: Sessile oak, *Quercus petraea*, phenology, UAV

Słowa kluczowe: dąb bezszypułkowy, fenologia, bezzałogowe statki powietrzne

Researches of phenological events are conducted for a long time. For centuries, phenological observations were an important source of information for farmers as the basis to made decisions on the accession to the relevant field activities. Changes to beginning and the length of the growing season and the phenological stages can be of great importance for the individual trees, their populations and the populations of other species. Trees that have extended the growing season, thanks to a longer photosynthetic activity, can gain an advantage over the other trees, but early development of assimilation apparatus or late ending of vegetation increases the risk of damage caused by late or early frosts. Rescheduling phenological phases, especially the development of assimilation apparatus, flowering and fruiting, can significantly affect the populations of insects and other animals that need for their development appropriate food base.

Phenological phenomena are now heavily modified as a result of global climate change, and the reactions of trees can be varied – from increased growth to its weakening as a result of changes in relation between respiration processes and assimilation. In the longer term, they can change the geographic ranges of individual species and species composition of plant communities.

The aim of the research described in this paper is to assess the ability to recognize the autumn phenological phases in single trees of the sessile oak, using images obtained using an UAV. In our study we have examined if the crowns colors of individual trees are recognized similarly and reproducibly by different observers, and thus, if we can on this basis rank the trees according to their preparation for winter dormancy. The task of 20 observers involved in the research was to pass each tree to one of five classes, based on the dominant color

of assimilation apparatus observed on an orthomosaic made based on UAV images.

Observers not passed before training in the interpretation of aerial photographs for phenological research and we haven't presented them any patterns of colors also. Distinguished color classes of oaks were: 1 – green, 2 – greenish-yellow, 3 – yellow, 4 – yellow-brown and 5 – brown.

For each tree we have calculated a color index C_1 that is the average value of color ordinal numbers (1, 2, ..., 5) identified by 20 observers. C_1 allows to locate the tree on the appropriate position in the color scale (fig. 4). On the left part of the fig. 4 are trees that all observers have classified to the class of "green". Next positions occupy trees, which also received other indications of colors – gradually increasing the share of greenish, then yellow, yellow-brown and brown.

The task to assign crown to color classes turned out to be for the participants quite difficult. The analysis of the distribution of the color indications for each of the trees revealed that only 6 of all trees (5 green and one greenish-yellow) were classified by observers to the same group. Other trees were classified to different colors, and in the case of 25 trees (22%), the number of the same color indicated was less than or at most equal to 12 (fig. 5). The applied color scale, however, did not correspond fully to colors perceived by the participants. After completion of the study, all said they ran out of color that is a mixture of green and brown, and the crowns of trees that could be assigned to that color, were therefore classified as greenish-yellow, yellow or yellow-brown. It is necessary to explain the causes of green-brown color observed in some trees, as well as its natural meaning and place in a chain of crown colors changes taking place during autumn, using methods of digital image analysis.

Wprowadzenie

Naturalnym zjawiskiem występującym w populacjach roślin drzewiastych jest zróżnicowanie tempa przechodzenia poszczególnych osobników przez kolejne fazy rozwoju w okresie wegetacyjnym. Różnice te mogą dotyczyć terminów rozpoczęcia rozwoju aparatu asymilacyjnego wiosną, zakwitania lub owocowania, a także pojawiania się zmian barw i ubytku liści w okresie jesieni. Przyczyn obserwowanych różnic fenologicznych pomiędzy osobnikami upatruje się w wielu czynnikach natury biotycznej i abiotycznej. Nierówne tempo rozwoju drzew może wynikać z mikrozróżnicowania siedliska – różnego dostępu drzew do substancji mineralnych lub wody, niejednakowej ekspozycji na warunki atmosferyczne egzemplarzy rosnących na obrzeżach lub w różnym zwarciu wewnątrz drzewostanu (Trąba i in. 2012) ewentualnie osłabienia przez czynniki biotyczne, tj. opanowania przez grzyby, lub owady. Drzewa rosnące w miastach mogą reagować na zmienne przestrzennie zanieczyszczenia powietrza i gleby albo przesuszenie podłoża.

Badania zjawisk fenologicznych prowadzone są od bardzo dawna. Od wieków obserwacje fenologiczne były ważnym źródłem informacji dla rolników, którzy na ich podstawie podejmowali decyzje o przystąpieniu do odpowiednich czynności gospodarczych. Badania fenologiczne koncentrują się głównie na zjawiskach występujących na początku sezonu wegetacyjnego, znacznie rzadziej dotyczą okresu jesieni, gdy obserwujemy zmiany jakościowe (zabarwienia) i ilościowe (ubytek liści) w aparacie asymilacyjnym drzew. Zmiany terminów początku i końca oraz długości okresu wegetacji i tempa przechodzenia przez fazy fenologiczne mogą mieć duże znaczenie dla poszczególnych drzew, ich populacji, a także populacji innych gatunków. Drzewa, które mają wydłużony okres wegetacji, dzięki dłuższej aktywności fotosyntetycznej, mogą zyskiwać przewagę nad pozostałymi drzewami. Z drugiej strony wczesny rozwój aparatu asymilacyjnego lub późne kończenie wegetacji zwiększają ryzyko uszkodzeń powodowanych przez przymrozki późne lub wczesne (Chmura 2002). Zmiany terminów faz fenologicznych, szczególnie rozwoju aparatu asymilacyjnego,

kwitnienia i owocowania, mogą znacząco wpływać na populacje owadów i innych zwierząt, które dla swojego rozwoju potrzebują odpowiedniej bazy pokarmowej (Polgar i Primack 2011).

Zjawiska fenologiczne są obecnie silnie modyfikowane na skutek globalnych zmian klimatu, a reakcje drzew mogą być różnorodne – od zwiększonego wzrostu do jego osłabienia na skutek zmiany relacji procesów oddychania i asymilacji. W dalszej perspektywie mogą zmienić się zasięgi geograficzne poszczególnych gatunków i skład gatunkowy zbiorowisk roślinnych.

Zdjęcia lotnicze są stosowane w badaniach lasów od dawna. Przed wieloma laty powszechnie stosowano do oceny kondycji lasów zdjęcia, które rejestrowały promieniowanie z zakresu bliskiej podczerwieni. Zmiany stanu drzew, powodowane przez różne czynniki biotyczne i abiotyczne, widoczne są na tych zdjęciach w postaci zmian barwy. Odpowiednio wyszkoleni obserwatorzy byli w stanie wyróżnić kilka stopni uszkodzeń drzew (Będkowski 2015).

Również w badaniach fenologicznych stosuje się zdjęcia naziemne, lotnicze i obrazy satelitarne. Znaczenia obrazów teledetekcyjnych z początku nie doceniano, wskazując na ich zbyt małą rozdzielczość przestrzenną, a tym samym nieprzydatność do badań na poziomie pojedynczych drzew czy ich zbiorowisk, co jednakże zmieniło się za sprawą nowych systemów obrazowania satelitarnego oraz pojawienia się możliwości wykonywania obrazów z niskiego pułapu za pomocą dronów (Polgar i Primack 2011). W literaturze ukształtował się już termin „Satellite Ecology”, na oznaczenie badań ekosystemów prowadzonych z wykorzystaniem obrazów satelitarnych (Muraoka i Koizumi 2009). Istnieją projekty, jak np. National Ecological Observatory Network (NEON), AmeriFlux (Richardson i in. 2009), lub European Phenology Network (Badeck i in. 2003), w których wykonywane są cyklicznie zdjęcia za pomocą kamerki umieszczonej nad okapem lasu. Pozwalają na ocenę dynamiki zmian fenologicznych w całym okresie wegetacyjnym, w tym na zaobserwowanie różnic między poszczególnymi sezonami, a także zmian systematycznych związanych ze zmianami klimatu. Dzięki zastosowaniu zdjęć wykonywanych z niskiego pułapu można zlokalizować w populacji drzewa wyróżniające się określonym przebiegiem zjawisk fenologicznych. Drzewa te mogą być później obiektem szczegółowych badań ekologicznych dotyczących przyczyn i przebiegu zjawisk oraz ich wpływu na inne organizmy i zjawiska występujące w lasach. W leśnictwie wyniki badań fenologicznych mogą mieć znaczenie dla opracowania zasad hodowli lasów, które pozwolą na obniżenie ryzyka szkód mrozowych u drzew wcześniej rozpoczynających lub późno kończących sezon wegetacyjny. Mogą się także przyczynić do wyselekcjonowania drzew o pożądanym cechach, jeśli badania genetyczne wskażą ich dziedziczny charakter. Dzięki późniejszemu rozwojowi liści drzewa mogą uniknąć nie tylko szkód mrozowych, ale także ubytku aparatu asymilacyjnego na skutek działalności owadów liściożernych (Bobinac i in. 2012, Sun i in. 2006). Z drugiej

strony obecność owadów żyjących w blaszce liściowej może przyczynić się do wcześniejszego zrzucania liści, co jest wyrazem strategii adaptacyjnej drzew do walki z nimi, bowiem owady takie mają wówczas mniejsze szanse na osiągnięcie optymalnej masy ciała, lub w ogóle na zakończenie swojego rozwoju (Waddell i in. 2001). Badania wskazują także na większy przyrost masy drzew o dłuższej wegetacji (Polgar i Primack 2011).

W Polsce badania zjawisk fenologicznych u dwóch gatunków dębów rodzimych – szypułkowego i bezszypułkowego – prowadzono głównie z punktu widzenia potrzeb hodowli lasu, ze szczególną uwagą na porównywanie drzew pochodzących z odległych miejsc, tzw. proveniencji. Wśród dębów polskich proveniencji istnieje duże zróżnicowanie pod względem udatności i wzrostu oraz cech fenologicznych (Barzdajn 2000). Nie ma zgodności co do znaczenia terminów wiosennego pędzenia dla wzrostu drzew. Fober (1994) cytuje prace kilku autorów, z których wynikają odmienne wnioski. U jednych proveniencji uważane za późnopędzące charakteryzowały się wyższym wzrostem i produktywnością, w porównaniu do wczesnopędzących, inni autorzy natomiast wskazują na lepszy wzrost form wcześniej pędzących. Ze względu jednak na możliwe uszkodzenia powodowane przez późne przymrozki lub żer owadów, ostatecznie lepszy przyrost mają dęby późnopędzące. Brak jest natomiast badań nad wpływem na wzrost dębów terminu zakończenia sezonu wegetacyjnego i zjawisk wówczas zachodzących.

Cel badań

Dąb bezszypułkowy (*Quercus petraea* Liebl.) jest jednym z ważniejszych gatunków lasotwórczych w Polsce (Andrzejczyk 2009), u którego występuje zjawisko silnego zróżnicowania terminów i czasu trwania faz fenologicznych między drzewami różnych pochodzeń (proveniencji) oraz u poszczególnych osobników (Fijałkowski 1968, Fober 1994, Chmura 2002). Celem badań omówionych w niniejszej pracy jest ocena możliwości rozpoznawania jesiennych faz fenologicznych u pojedynczych egzemplarzy dębu bezszypułkowego, z wykorzystaniem zdjęć uzyskanych za pomocą bezzałogowego statku powietrznego. Postanowiono sprawdzić, czy obserwowane na zdjęciach barwy koron poszczególnych drzew są w podobny i powtarzalny sposób postrzegane przez różnych obserwatorów, a tym samym, czy można na tej podstawie uszeregować drzewa według stopnia zaawansowania zmian wynikających z ich przygotowania do spoczynku zimowego. Wyniki doświadczenia pozwolą na ocenienie przydatności do tego celu zaproponowanej skali barw.

Materiały i metody

Badania dotyczą drzew dębu bezszypułkowego w wieku ok. 90 lat, rosnących w drzewostanie z 10% udziałem sosny zwyczajnej. Drzewostan (19.920365 E, 51,837381 N)

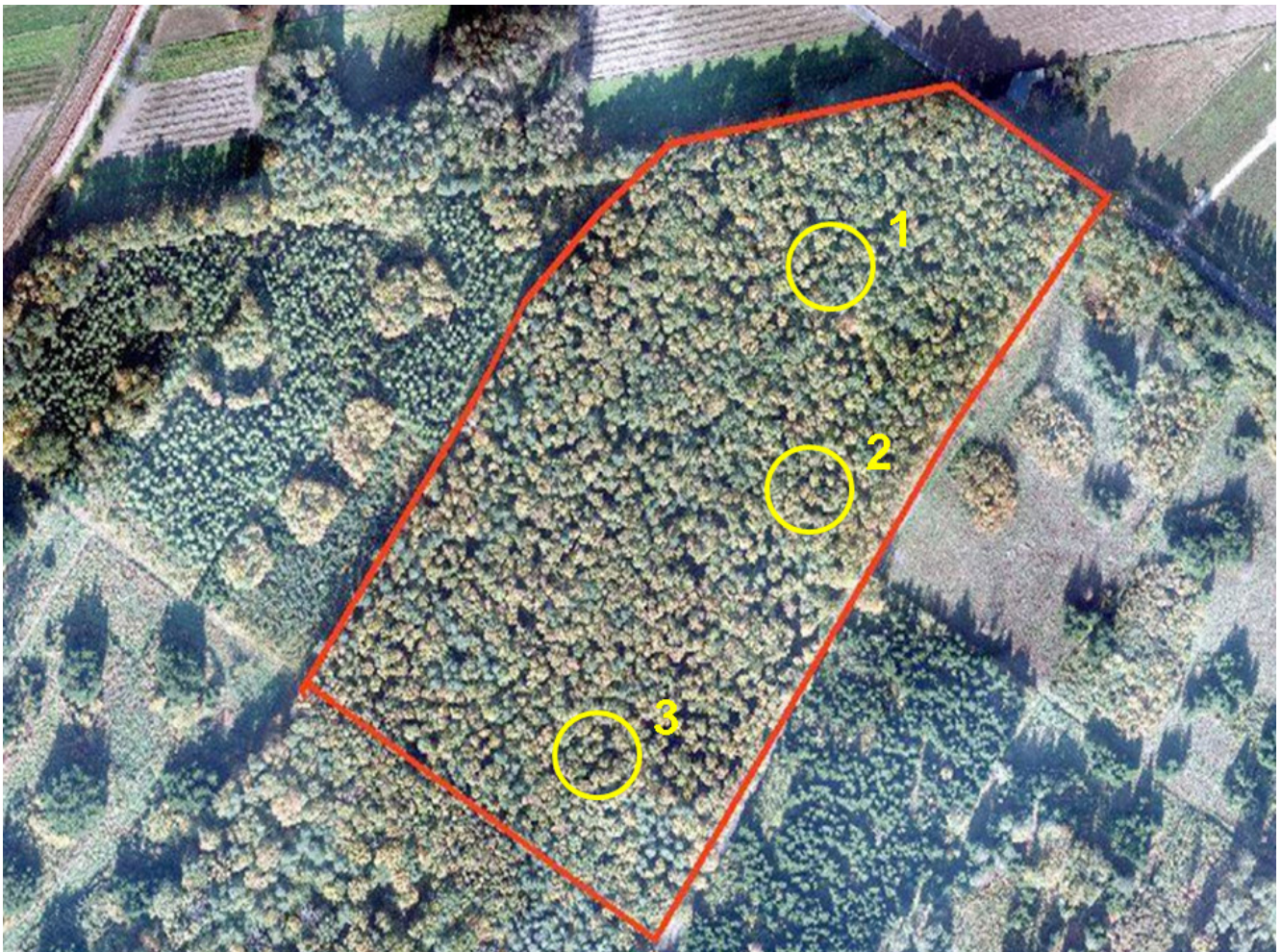
o powierzchni 7,49 ha jest pod zarządem Leśnego Zakładu Doświadczalnego SGGW w Rogowie.

Wykorzystano przetworzone do postaci ortomozajki zdjęcia lotnicze wykonane 9 października 2010 r., w ramach projektu celowego dotyczącego inwentaryzacji uszkodzeń biotycznych w lasach (Projekt 2009). Zdjęcia rejestrowano przy dobrym oświetleniu (brak chmur) za pomocą niemetrycznej kamery Sigma DP2, przenoszonej przez bezzałogowy statek powietrzny AVI-1. Statek oraz system rejestracji obrazów zostały zbudowane w ramach prac badawczo-rozwojowych prowadzonych przez firmę Taxus SI Sp. z o.o. (Zmarz 2009, Zmarz i Plutecki 2010, Plutecki i in. 2013) oraz Zmarz (2011). Ortomozajkę złożono za pomocą oprogramowania EN-SOMosaic. Uzyskany materiał nie wykazywał istotnych różnic radiometrycznych między poszczególnymi zdjęciami, co mogłoby być przyczyną zmienności barwnego odwzorowania drzew na ortomozajce. W licznych badaniach wykazano przydatność zobrażeń uzyskanych za pomocą tego systemu do oceny stanu zdrowotnego świerków (Zmarz i in. 2012, Robaszekiewicz i in. 2014, Wolinowski i Będkowski 2015), analizy składu gatunkowego drzewostanów (Będkowski i Stereńczak 2013a), do badań fenologicznych (Będkowski i Stereńczak 2013b,

Łoziński 2015), określania kondycji sosny zwyczajnej (Stereńczak i Będkowski 2013), a także detekcji dębu czerwonego (Będkowski i Stereńczak 2012) i oceny struktury drzewostanu w rezerwacie dębu bezszypułkowego (Szymański i in. 2014).

Podczas obserwacji prowadzonych w terenie w czasie wykonywania nalotu stwierdzono, że w okresie jesieni w badanym drzewostanie występują drzewa różniące się barwą aparatu asymilacyjnego, od zielonej, poprzez żółtą do brązowej. Niekiedy liście przybierają także barwę czerwoną. Zmiany barw dotyczą najczęściej całych koron drzew, choć mogą zaznaczać się najpierw w części górnej. Podobny obraz jesiennych barw aparatu asymilacyjnego można zaobserwować także na zdjęciach lotniczych wykonanych z niskiej wysokości (rys. 1).

W terenie założono trzy powierzchnie próbne, na których pomierzono dokładnie metodami geodezyjnymi położenie pni 114 dębów. W laboratorium warstwę punktów symbolizujących poszczególne drzewa nałożono na ortomozajkę, po czym zwektoryzowano i ponumerowano zasięgi ich koron (rys. 2). Tak przygotowaną ortomozajkę przedstawiono obserwatorom, których zadaniem było zaliczenie każdego drzewa do jednej z pięciu klas, na podstawie dominującej barwy aparatu asymi-



Rys. 1. Fragment ortomozajki wykorzystanej w badaniach. Zaznaczono położenie trzech powierzchni próbnych (źródło zdjęć: Taxus SI)

Fig. 1. A part of an UAV-orthomosaic used in the research with localization of 3 sample plots (image source Taxus SI)



Rys. 2. Drzewa wybrane do doświadczenia na powierzchni próbnej nr 2 (źródło zdjęć: Taxus SI)
 Fig. 2. Trees selected on the 2nd sample plot (image source Taxus SI)

lacyjnego zaobserwowanej na ortomozaice. Wyróżniono dęby: 1 – zielone, 2 – zielonożółte, 3 – żółte, 4 – żółto-brązowe i 5 – brązowe. Barwy koron są wypadkową barwy liści i odzwierciedlają stan fenologiczny drzew – stopień ich przygotowania do spoczynku zimowego. Obserwacje obrazów drzew prowadzono na ekranie stale tego samego urządzenia i w podobnych warunkach oświetlenia ogólnego. W doświadczeniu wzięło udział 20 mężczyzn w wieku 20-40 lat. Obserwatorzy nie przeszli wcześniej szkolenia z zakresu interpretacji zdjęć lotniczych na potrzeby badań fenologicznych, nie przedstawiono im także wzorców barw oraz nie mieli

możliwości kontaktowania się ze sobą przed i w trakcie doświadczenia.

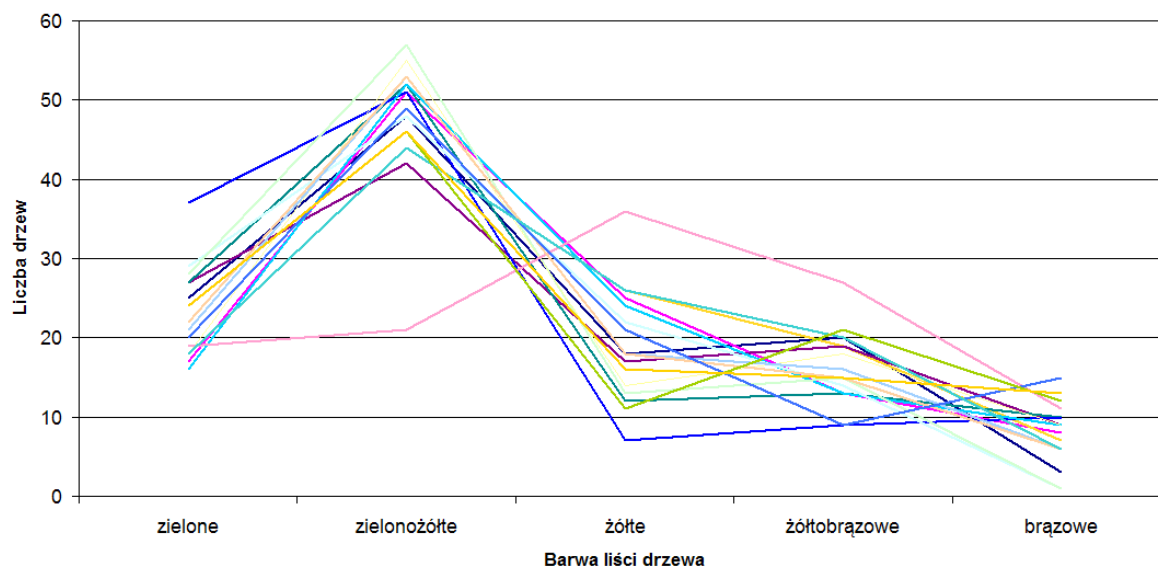
Wyniki

Według obserwatorów w drzewostanie dominowały drzewa o koronach barwy zielonożółtej, następnie zielonej, żółtej, żółto-brązowej i brązowej. Uzyskane wyniki są dosyć zróżnicowane – największe rozbieżności między obserwatorami dotyczą drzew zaklasyfikowanych do barw z końca skali, zbliżonych do brązowej (tab. 1, rys. 3).

Tabela 1. Wyniki klasyfikacji 114 dębów według barwy ich liści widocznej na ortomozaice utworzonej ze zdjęć uzyskanych za pomocą bezzałogowego statku powietrznego (dwudziestu obserwatorów)

Table 1. Classification of 114 oak trees according to color of their leaves recognized on the orthomosaic made from UAV images – results achieved by 20 observers

Barwa korony drzewa <i>Tree crown color</i>	Liczba drzew zaliczonych przez obserwatorów do danej barwy <i>No of trees classified in accordance to colors of their leaves</i>		
	Średnia <i>Mean</i>	Najmniejsza <i>Minimum</i>	Największa <i>Maximum</i>
Zielona <i>Green</i>	23	16	37
Zielonożółta <i>Green/Yellow</i>	48	21	57
Żółta <i>Yellow</i>	19	7	36
Żółto-brązowa <i>Yellow/Brown</i>	16	9	27
Brązowa <i>Brown</i>	9	1	15



Rys. 3. Liczba drzew sklasyfikowanych przez 20 obserwatorów do pięciu klas barw liści

Fig. 3. Number of trees (vertical axis) classified by 20 observers into five classes (horizontal axis) with respect to their leaf's colors

Dla każdego drzewa obliczono wskaźnik barwy C_p , który jest średnią wartością liczb porządkowych barw (1, 2, ..., 5) wskazanych przez 20 obserwatorów:

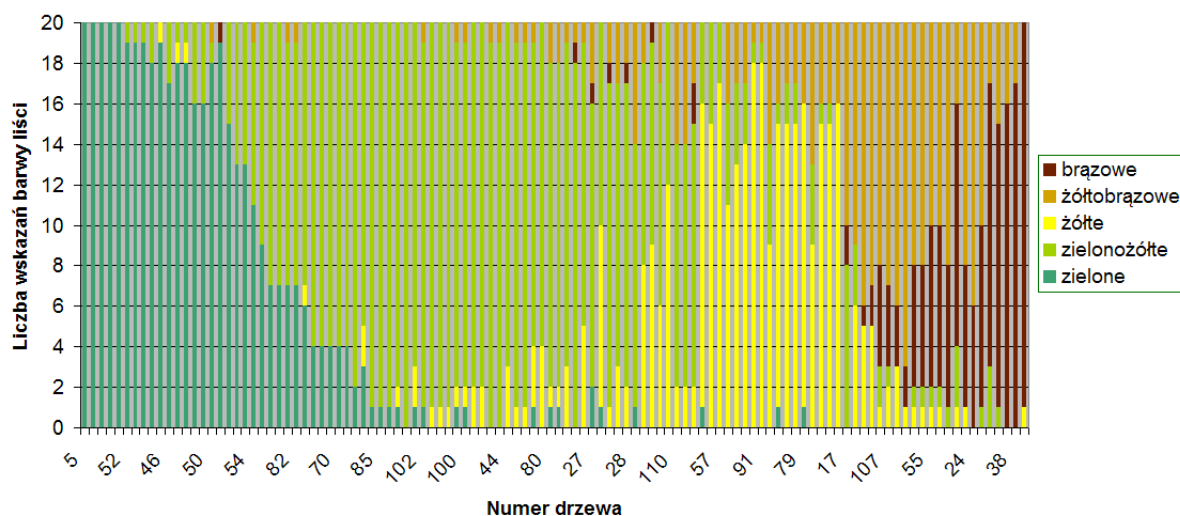
$$C_i = \frac{n_1 \cdot 1 + n_2 \cdot 2 + n_3 \cdot 3 + n_4 \cdot 4 + n_5 \cdot 5}{n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5} = \frac{\sum_{i=1}^5 n_i \cdot i}{\sum_{i=1}^5 n_i} = \frac{\sum_{i=1}^5 n_i \cdot i}{20}$$

gdzie:

$i = \{1, 2, \dots, 5\}$ – numer barwy (od zielonej do brązowej),
 n_1, n_2, \dots, n_5 – liczba wskazań danej barwy.

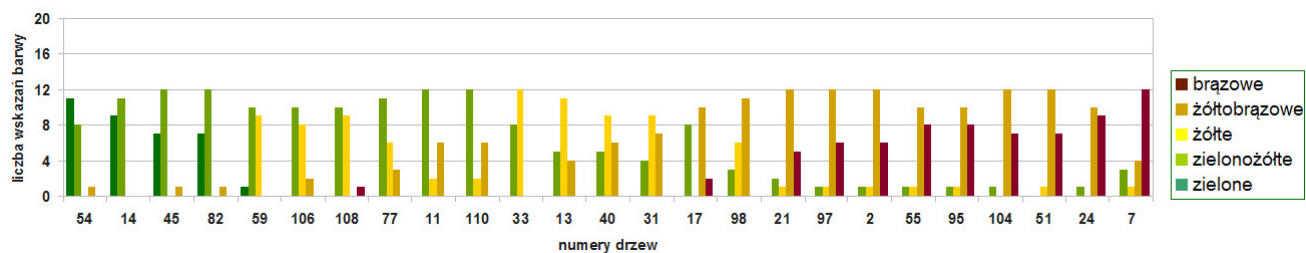
Wskaźnik C_p pozwala ułożyć drzewo na odpowiedniej pozycji w skali barw. Drzewa ułożone w kolejności według narastającej wartości wskaźnika C_p , przedstawiono na rys. 4. W lewej części rysunku znajduje się 5

drzew, które wszyscy obserwatorzy zaliczyli do klasy „zielone”, kolejne pozycje zajmują drzewa, które otrzymywały także inne wskazania barw – stopniowo zwiększa się udział wskazań barwy zielonożółtej, następnie żółtej, żółtobrazowej i brązowej. Zauważmy, że gdyby obserwatorzy nie mieli trudności w klasyfikacji, nie powinno być przypadków zaliczania drzew do bardzo odległych barw, tj. różniących się wskazaniami o więcej niż o jeden stopień. Drzewo o „przejściowej” barwie powinno być zaliczane do jednej z barw sąsiadujących ze sobą na przyjętej skali, np. zielonej lub zielonożółtej, zielonożółtej lub żółtej, żółtej lub żółtobrazowej, itd. W naszym doświadczeniu niektóre drzewa były klasyfikowane do barw dosyć odległych, szczególnie widoczne jest to w prawej części rysunku.



Rys. 4. Drzewa ułożone w kolejności według narastającej wartości wskaźnika C_p . Dla każdego ze 114 drzew pokazano, jak zostały zaliczone przez 20 obserwatorów do pięciu klas barw

Fig. 4. Trees ordered after their color indices C_p (horizontal axis). For every of 114 trees is shown here how they were classified by 20 observers into five color classes (vertical axis). Colors are (from left to right): green, green/yellow, yellow, yellow/brown, brown



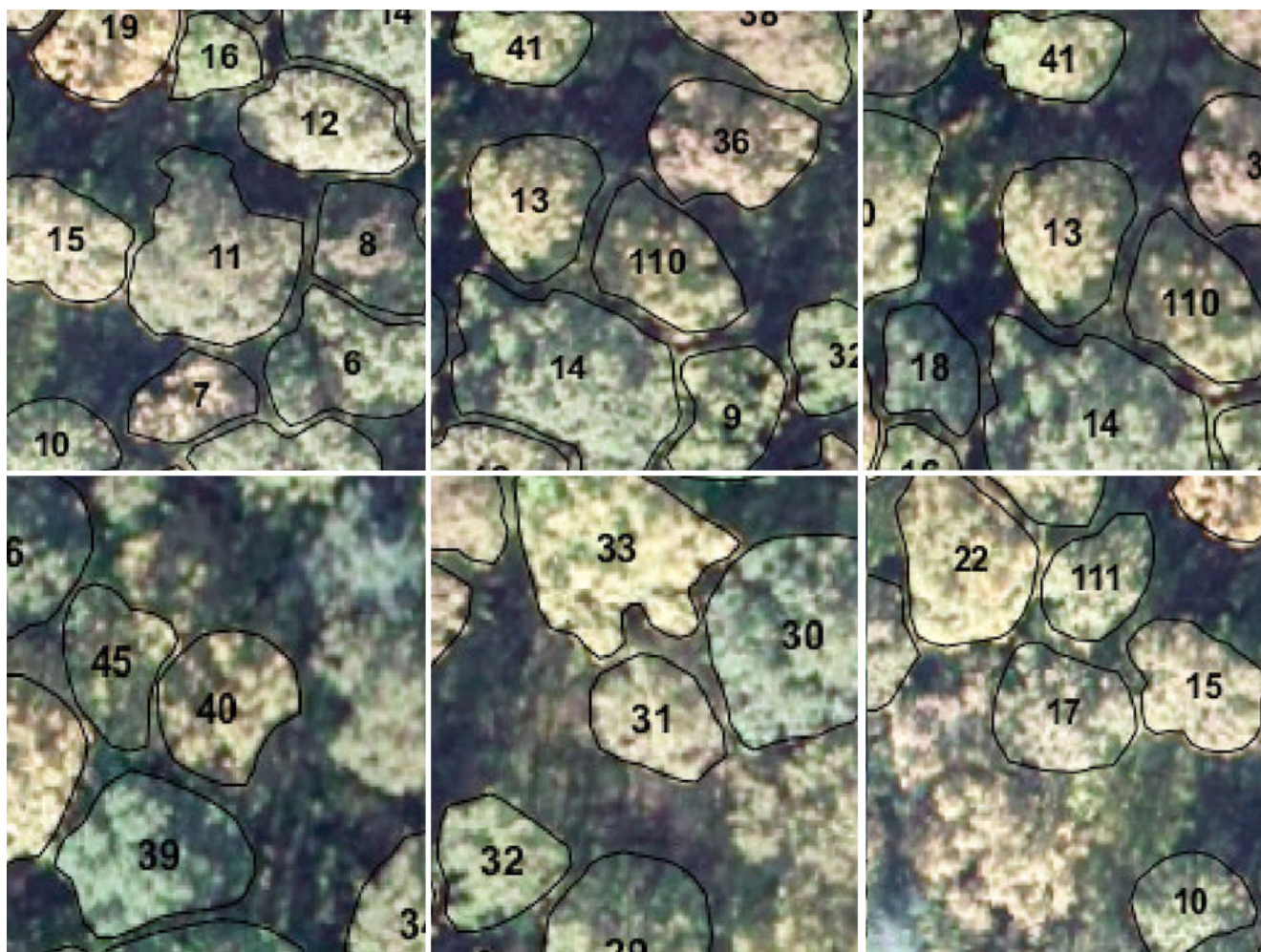
Rys. 5. Wyniki klasyfikacji 25 drzew które zostały sklasyfikowane jednakowo przez co najwyżej 12 obserwatorów. Drzewa ułożono w kolejności według wartości wskaźnika barwy C_i

Fig. 5. Classification results for 25 trees classified in accordance by up to 12 observers. Trees are ordered with regard to the values of their color indices C_i

Zadanie przypisania koron drzew do klas barwnych okazało się być dla uczestników doświadczenia dosyć trudnym. Z analizy rozkładów wskazań barwy dla każdego z drzew wynika, że tylko 6 drzew (5 zielonych i jedno zielonożółte) wszyscy obserwatorzy zakwalifikowali do tej samej grupy. Pozostałe drzewa sklasyfikowano do różnych barw, przy czym w przypadku 25 drzew (22% zbioru) liczba takich samych wskazań barwy korony była mniejsza lub co najwyżej równa 12 (rys. 5). Zauważyć należy także, że w tej liczbie dla wielu drzew

otrzymano wskazania barw dosyć odległych, w zasadzie z całej skali – od zielonej po brązową. Obrazy koron sześciu przykładowych drzew, które były klasyfikowane do skrajnie różnych barw pokazano na rys. 6.

Uczestnicy badań stwierdzili, że na ortomozajce zaobserwowali drzewa z barwą zielonobrazową, której nie uwzględniono w przyjętej w doświadczeniu skali. Drzewa takie dosyć często były klasyfikowane do skrajnie różnych barw – zielonej lub brązowej, co jest widoczne wyraźnie na rys. 5.



Rys. 6. Obrazy koron drzew (11, 110, 13, 40, 31, 17), które były klasyfikowane przez obserwatorów do różnych barw

Fig. 6. Crowns of trees (11, 110, 13, 40, 31, 17) classified by observers into different color classes

Dyskusja wyników i wnioski

Zastosowana w doświadczeniu skala, dzięki niedużej liczbie barw i przyjęciu dla nich nazw ogólnie znanych, nie powinna stwarzać większych trudności dla przyporządkowania do nich przez każdego obserwatora utrwalonych w jego pamięci wzorców. Ze względu jednakże na ciągły charakter zjawiska zmiany barwy oraz indywidualne różnice postrzegania barw, oczywistym jest, że drzewa mogły być zaliczane przez poszczególnych obserwatorów do różnych klas barwnych. Oczekiwano, że ewentualne różnice wskazań barwy nie przekroczą jednego stopnia i np. drzewo zaliczone przez danego obserwatora do klasy 3 (żółte) może być przez innych ocenione co najwyżej jako zielonożółte lub żółtobrazowe. Nie powinno być natomiast zaliczane do bardziej odległych klas, np. do grupy drzew z koronami zielonymi lub brązowymi, bowiem przeczyłoby to idei wykorzystania zdjęć lotniczych do identyfikacji faz fenologicznych. Przy prawidłowo funkcjonującej klasyfikacji dane drzewo powinno być zatem zaliczane przez większość obserwatorów do tej samej klasy barw. Wskazań odmiennych może być natomiast tym więcej, im bardziej obserwowana barwa jest „przesunięta” w kierunku innej barwy. W takim wypadku, jeżeli tylko przyjęta skala barw odpowiada zmianom barw zachodzącym w rzeczywistości na skutek analizowanego zjawiska i obserwowanym na zdjęciu lotniczym, powinna to być barwa sąsiadująca na zastosowanej skali. Taki wynik otrzymano dla większości drzew (rys. 4).

Zastosowana skala barwna nie odpowiadała jednak w pełni barwom postrzeganym przez uczestników doświadczenia. Po zakończeniu badań wszyscy stwierdzili, że zabrakło barwy zielonobrazowej. Korony drzew, które mogły być przyporządkowane do tej barwy, były zatem klasyfikowane jako zielonożółte, żółte lub żółtobrazowe. Szczególnie jest to widoczne u 6 drzew (rys. 5 i 6, drzewa o nr. 11, 110, 13, 40, 31, 17), spośród tych, które otrzymały po 12 lub mniej takich samych wskazań barwy.

Z podobnym problemem zetknęli się także Będkowski i Stereńczak (2013b). Powtórna analiza materiałów źródłowych i wyników wykonanej przez nich na ortomozaice dwukrotnej klasyfikacji 556 drzew (zgodność wyników dwóch obserwatorów wyniosła 79,7%) daje podstawy do stwierdzenia, że odmiennie sklasyfikowane drzewa miały barwy koron, które można nazwać zielonobrazowymi. W dalszych badaniach należy zatem sprawdzić, jakie jest przyrodnicze znaczenie każdej barwy, w tym „brakującej” w zastosowanej skali barwy zielonobrazowej.

Dla sklasyfikowania danej korony do odpowiedniej barwy mają bez wątpienia znaczenie barwy otoczenia, w jakim się ona znajduje (Zausznica 2012). Jedną z teorii postrzegania barw (Kalat 2006) mówi o dużych różnicach występujących między poszczególnymi osobami. W myśl tej samej teorii dana osoba postrzega barwy stabilnie, a więc wyniki wykonywanej przez nią klasyfikacji powinny być w znacznym stopniu powtarzalne (tego aspektu w niniejszych badaniach nie analizowano). Dla praktyki teledetekcji oznacza to, że należy ostrożnie podchodzić do

wyników uzyskiwanych przez różne osoby i że można (co jest ważne w przypadku dużych projektów) wprowadzić procedury odpowiedniego ich wyrównania.

Wyniki doświadczenia wykazały, że w ogólnym zarysie przyjęta skala barwna odpowiada barwom koron drzew obserwowanym zarówno w terenie, jak i na zdjęciach lotniczych. Na podstawie zebranego materiału na obecnym etapie badań nie ma możliwości stwierdzenia przyczyn i przyrodniczego znaczenia klasy drzew z koronami zielonobrazowymi. Pewne obserwacje terenowe sugerują, że znaczenie mogą mieć takie czynniki, jak obecność roślinności niższych pięt, która posiada jeszcze niezmienione (zielone) liście lub niejednakowe przebarwienie się liści u danego drzewa (obecność jednocześnie liści o różnych barwach – od zielonej po brązową – lub nierównomierne zmiany barw na powierzchni poszczególnych liści). Wpływ na postrzeganie barwy mogły mieć także kontekst barwny obserwowanego drzewa, a także jego oświetlenie w momencie wykonania zdjęć. Warto zwrócić uwagę także na inne, równoległe występujące zjawisko fenologiczne, jakim jest zrzucanie liści. Stopień ubytku liści, wyrażony jako odsetek pełnego ulistnienia, może być stosowany do wyróżniania kilku jesiennych faz fenologicznych, od momentu rozpoczęcia zrzucania liści, do osiągnięcia stanu bezlistnego (Bobinac i in. 2012). Odslonięte części drzew – gałęzie, konary, pnie – a także niżej występujące rośliny lub dno lasu mogły, w połączeniu z pozostałymi na drzewach liśćmi, stworzyć specyficzną zielonobrazową kompozycję barwną.

W badaniach jesiennych faz fenologicznych u dębu bezszypułkowego, szczególnie z wykorzystaniem metod cyfrowego przetwarzania obrazów, należy zatem uwzględnić klasę drzew z koronami w barwach zielonobrazowych. Uzupełniona w ten sposób skala barw będzie w lepszym stopniu dopasowana do faktycznej zmienności barw, co zostało zauważone przez obserwatorów. Niezbędne jest także wyjaśnienie przyczyn powstawania wrażenia barwy zielonobrazowej zaobserwowanej u części drzew, a także jej przyrodniczego znaczenia i miejsca w ciągu zmian barw koron drzew dokonujących się w okresie jesieni.

Podziękowania

Autorzy dziękują firmie Taxus SI Sp. z o.o. z Warszawy za udostępnienie do celów dydaktycznych i naukowych ortomozaiki wykonanej ze zdjęć pozyskanych za pomocą bezzałogowego statku powietrznego Avi-1. Prezentowane w artykule badania wykonano w 2015 r. na Wydziale leśnym SGGW w Warszawie.

Literatura

- ANDRZEJCZYK T., 2009, *Dąb szypułkowy i bezszypułkowy*. PWRiL, Warszawa.
- BADECK F.W., BONDEAU A., BÖTTCHER K., DOKTOR D., LUCHT W., SCHABER J., et al., 2004, *Responses of spring phenology to climate change*. *New Phytologist* 162, s. 295-309.

- BARZDAJN W., 2000, *Prowienienicyjne doświadczenie z dębami (Quercus robur L. i Q. petraea [Matt.] Loeb.) z 1993 r. w nadleśnictwach Milicz i Oborniki Śląskie*. Sylwan CXLIV (12), s. 57-68.
- BĘDKOWSKI K., 2015, *Z historii rozwoju fotogrametrii i teledetekcji w leśnictwie polskim*. Teledetekcja Środowiska 52, s. 5-15.
- BĘDKOWSKI K., STERENĆZAK K., 2012, *Rozpoznawanie dębu czerwonego (Quercus rubra L.) na zdjęciach lotniczych wykonanych w końcowej fazie sezonu wegetacyjnego*. Studia i Materiały Centrum Edukacji Przyrodniczo-Leśnej R. 14, z. 33(2), s. 171-180.
- BĘDKOWSKI K., STERENĆZAK K., 2013a, *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., STERENĆZAK K., 2013b, *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.
- BOBINAC M., BATOS B., MILJKOVIĆ D., RADULOVIĆ S., 2012, *Polycyclic and phenological variability in the common oak (Quercus robur L.)*. Arch. Biol. Sci., Belgrade, 64 (1), s. 97-105.
- CHMURA D. J., 2002, *Fenologia wiosennego rozwoju polskich proveniencji dębu szypułkowego (Quercus robur L.) i bezszypułkowego (Q. petraea [Matt.] Liebl.)*. Sylwan 146, nr 4, s. 97-103.
- FIJAŁKOWSKI D., 1968, *Zmienność dębów szypułkowego (Quercus robur L.) i bezszypułkowego (Quercus sessilis Ehrh.) w lasach Lubelszczyzny*. Sylwan CXII (12), s. 41-47.
- FOBER H., 1994, *Przegląd doświadczeń proveniencyjnych dębu szypułkowego (Quercus robur L.) i bezszypułkowego (Q. petraea Liebl.)*. Sylwan CXXXVIII (1), s. 89-97.
- KALAT J.W., 2006, *Biologiczne podstawy psychologii*. Wyd. Naukowe PWN, Warszawa.
- ŁOZIŃSKI A.W., 2015, *Wizualna ocena barw koron dębu bezszypułkowego (Quercus petraea Liebl.) obserwowanych na zdjęciach lotniczych wykonanych w okresie jesieni*. Katedra Urządzenia Lasu, Geomatyki i Ekonomiki Leśnictwa, Wyzd. Leśny SGGW w Warszawie (praca inżynierska).
- MURAOKA H., KOIZUMI H., 2009, *Satellite Ecology (SATECO) – linking ecology, remote sensing and micrometeorology, from plot to regional scale, for the study of ecosystem structure and function*. J. Plant Res. 122, s. 3-20.
- PLUTECKI W., ZMARZ A., SANKO I., 2013, *A truly photogrammetric UAV*. GIM International 4, s. 39-41.
- POLGAR C.A., PRIMACK R.B., 2011, *Leaf-out phenology of temperate woody plants: from trees to ecosystems*. New Phytologist 191, s. 926-941.
- PROJEKT, 2009, *Projekt celowy nr 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, Taxus SI Sp. z o.o., Warszawa*.
- RICHARDSON A.D., BRASWELL B.H., HOLLINGER D.Y., JENKINS J.P., OLLINGER S.V., 2009, *Near-surface remote sensing of spatial and temporal variation in canopy phenology*. Ecological Applications 19, s. 1417-1428.
- 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.
- STERENĆZAK 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.
- SUN S., JIN D., LI R., 2006, *Leaf emergence in relation to leaf traits in temperate woody species in East-Chinese Quercus fabri forests*. Acta Oecologica 30, s. 212-222.
- 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.
- TRABA C., WOLAŃSKI P., ROGUT K., 2012, *Fenologia i fenologiczne pory roku*. Aura 5, s. 8-10.
- WADDELL K.J., FOX C.W., WHITE K.D., 2001, *Leaf abscission phenology of a scrub oak: consequences for growth and survivorship of a leaf mining beetle*. Oecologia 127, s. 251-258.
- WOLINOWSKI P., BĘDKOWSKI K., 2015, *Ocena stanu zdrowotnego świerka pospolitego (Picea abies Karst.) na podstawie zdjęć lotniczych wykonanych z niskiej wysokości w okresie intensywnego wiosennego wzrostu drzew*. Teledetekcja Środowiska T. 53, s. 5-14.
- ZAUSZNICA A., 2012, *Nauka o barwie*. Wyd. Naukowe PWN, Warszawa.
- 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 niemetrycznym aparatem cyfrowym z pokładu modelu latającego – pierwsze przykłady*. Roczniki Geomatyki T. VIII, z. 7(43), s. 91-95.



Inż. Antoni ŁOZIŃSKI ukończył w 2015 r. studia I stopnia na Wydziale Leśnym Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, a następnie podjął studia leśne II stopnia w ramach programu Euroforester na Swedish University of Agricultural Sciences, Alnarp, Sweden. E-mail: antekloz92@gmail.com

Eng. Antoni ŁOZIŃSKI graduated 2015 Forest Faculty (Bachelor degree) at Warsaw University of Life Sciences – SGGW in Warsaw. Then he started studies on the Euroforester Program at the Swedish University of Agricultural Sciences, Alnarp, Sweden. E-mail: antekloz92@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

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 photogrammetry and the remote sensing in the evaluation

of the state of the vegetation – forests, woodlots 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