

## Z historii rozwoju fotogrametrii i teledetekcji w leśnictwie polskim

*From the history of the development of photogrammetry  
and remote sensing at the Polish forestry*

Krzysztof BĘDKOWSKI

Uniwersytet Łódzki, Wydział Nauk Geograficznych  
Instytut Geografii Miast i Turyzmu, Zakład Geoinformacji  
ul. Kopcińskiego 31, 90-142 Łódź  
[krzysztof.bedkowski@geo.uni.lodz.pl](mailto:krzysztof.bedkowski@geo.uni.lodz.pl)

### Abstract

Photogrammetry started to develop in Poland after World War I. Although relatively very important and big photogrammetric projects from this time are known, only few mentions are related to the use of photogrammetry for forestry purposes. On early 1945 the demand for the development of photogrammetric products – photomaps – reported six ministries, including the Ministry of Forestry. Forest applications of photogrammetry were developed by workers employed in Forest Research Institute – Gieruszyński (1948) and Stanecki (1951) published first books concerning the use of aerial photographs for measuring and determining the forest characteristics and estimation of wood volume. Aerial photographs found wide use in forestry from the second half of the 1950s, but after 1970 a decline of interest in the use of photogrammetry is to be noticed. The need for a broader use of photogrammetry in forestry pointed the authors of many studies appearing in the scientific literature. In the seventies, research related to the use of simple photogrammetry methods and tools to determine the selected characteristics of forest stands. There was big interest in methods of determining the amount of trees within stands, their height, crowns closure, and species composition. The second half of the seventies is also the birth of the forest remote sensing. The real revolution in scientific research and applications of photogrammetry and remote sensing takes place from the beginning of the twenty-first century. Two circumstances are conducive to a growing use of photogrammetry and remote sensing in forestry – the emergence of laser scanning (LiDAR) technology and unmanned aerial vehicles. Also thematic scope of research will change – the focus will move from the issues concerning the inventory of stands to tracking dynamic processes of nature. Modern techniques of photogrammetry and remote sensing should also provide new data useful to detect and assess the significance of factors affecting the immunity of forest.

**Key words:** photogrammetry, remote sensing, forestry, history

**Słowa kluczowe:** fotogrametria, teledetekcja, leśnictwo, historia

*Photogrammetry started to develop in Poland immediately after World War I. First scientific papers related to photogrammetry are from late twenties. 1930 Wilczkiewicz and 1931 Miłkowski published their books on photogrammetry and image interpretation. Although relatively very important and big photogrammetric projects from this time are known, until 1939 only few*

*mentions are related to the use of photogrammetry for forestry purposes.*

*On early 1945 the demand for the development of photogrammetric products – photomaps – reported six ministries, including the Ministry of Forestry. Forest applications of photogrammetry were developed at that time by workers employed in Forest Research Institute.*

Gieruszyński (1948) and Stanecki (1951) published first books concerning the use of aerial photographs for measuring and determining the forest characteristics and estimation of wood volume.

Aerial photographs found wide use in forestry from the second half of the 1950s. It was then Photogrammetry Laboratory within the Office of the Forest Management and Forest Survey in Warsaw established. The achievements of 12 years of activity of this Laboratory are photogrammetric projects for more than 2.2 million hectares of forests, i.e. almost 1/3 of the total area of National Forests. After 1970 a decline of interest in the use of photogrammetry in forestry is to be noticed.

The need for a broader use of photogrammetry in forestry pointed the authors of many studies appearing in the scientific literature, but despite numerous research papers, photogrammetric techniques were for 30 years not on the rightful place in forestry. As the obstacles the following factors were mentioned: (i) less, as compared to other methods accuracy of photogrammetric inventory, (ii) limited access to specialized photogrammetric equipment, (iii) restrictions in use of aerial images due to their "top secret" status, and (iv) significant costs of photogrammetric projects.

The increase in interest in the forest remote sensing and photogrammetry becomes noticeable since 2003. It resulted from the rapid development of spatial information systems and improved availability of aerial and satellite images. It is also result of the activity of the scientific community, which has consistently developed photogrammetry and remote sensing methods for obtaining information on forests. Researches on the use of photogrammetry and remote sensing in forestry were conducted at the Institute of Geodesy and Cartography in Warsaw, forestry faculties at Agriculture Universities in Cracow, Poznań and Warsaw and Forest Research Institute in Warsaw. Here focused research on the application of photogrammetry and remote sensing to solve various issues directly related to forest management. Forest as an ecosystem and landscape element, was also the subject of research using remote sensing methods and photogrammetry at several other national research centers.

The subject of research has always been closely linked to the important issues of forestry and methods, tools and techniques of photogrammetry and remote sensing available in a given period. Many studies have focused on inventory of damage to forests caused by insects, impacts on forests of industrial immissions, reaction of forests to climate change, improving methods of forest inventory, including the estimation of the volume of the biomass and the amount of carbon bounded by forests, and forest biodiversity.

Important milestones were introduction to the photogrammetry and remote sensing of new sensors – analog, then digital – for performing imaging in natural (NC) and false colors (CIR) or acquisition of multi- and hyperspectral images. Photogrammetry transformed from analog through analytical to digital. Aerial images are

now not secret. Photogrammetric and remote sensing software became widespread and digital image processing methods are developed. There is good access to satellite images with reasonable spatial, spectral, radiometric and temporal resolution. A lot of applications in forestry found the technique of laser scanning. Aerial photos can be obtained in short technology cycles thanks to the use of unmanned aerial vehicles. Orthophotomaps useful in forestry cover now the entire country and are made available from the state resource.

In the seventies, research related to the use of simple photogrammetry methods and tools to determine the selected characteristics of forest stands. They focused on those features which define the field work as tedious and time consuming. There was big interest in methods of determining the amount of trees within stands, their height, crowns closure, and species composition. The second half of the seventies is also the birth of the forest remote sensing, and some of scientific works can be assumed as an introduction to digital image processing. At the turn of the seventies and eighties, dynamic development of remote sensing methods of forest health assessment could be observed. Research on this topic was carried out mainly at the Institute of Geodesy and Cartography, Warsaw. The developed method has been accepted by foresters, and in the form of technology, it was used later to assess the state of pine forests in many regions of the country. It was also found that even early satellites, Landsat, SPOT and russian Cosmos and Salyut, can serve data which could be used to prepare maps usefull in Polish forestry.

In 1990s for a relatively short period of time remote sensing community interested in the video technique as a way to collect imaging data on forests. Despite the promising results, work on the technique of video was not continued, which was influenced by far too low spatial resolution, geometric distortion of images and the complex issues relating to the photogrammetric internal and external image orientation.

The nineties in photogrammetry is the development of digital techniques. From that moment anyone equipped with a mid-range computer was able to perform photogrammetric studies for their own use. Photogrammetric measurements were used in two-phase methods of stand's wood volume where the samples were collected on ground and much more on aerial photographs. With this technique there were also studies on the spatial distribution of forest damages caused by hurricanes performed. Despite many advantages, stereoscopic technology isn't popular among foresters. It is necessary to implement here probably more user-friendly designed solutions, already known in photogrammetry, eg. image correlation and production of stereoorthophotomaps.

The real revolution in scientific research and applications of photogrammetry and remote sensing takes place from the beginning of the twenty-first century. Two circumstances are conducive to a growing use of photogrammetry and remote sensing in forestry – the emergence of laser scanning (LiDAR) technology and unmanned aerial

vehicles. The first signs of interest in laser scanning in Polish forestry appear in 2004. We studied also the possibility of using terrestrial laser scanning technique. Research on aerial LiDAR focused first on developing methods to determine the basic characteristics of forest stands. Some research returned to the concept of the two-phase method of forest stands inventory with the use of LiDAR data. Works on the use of laser scanning data are becoming more advanced, both from the theoretical and technological point of view.

Pierwsze udokumentowane zastosowanie dla potrzeb leśnych zdjęć uzyskiwanych z przestrzeni datowane jest na 1887 r., kiedy to w okolicy Berlina wykonano z balonu pierwsze zdjęcia pewnego rewiru leśnego (Hildebrandt 1987). Około 1890 r. podjęto w Austrii próby wykorzystania zdjęć naziemnych do rozróżniania drzewostanów oraz wykonywania map potoków. Już w pierwszej połowie XX wieku, dzięki rozwojowi lotnictwa i technologii fotogrametrycznych, zdjęcia stały się ważnym środkiem pozyskiwania informacji o lasach na rozległych obszarach USA, Kanady, Skandynawii oraz ZSRR (Huss, Akça, Hildebrandt, Kenneweg, Peerenboom, Rhody 1984).

Fotogrametria polska zaczęła się kształtować bezpośrednio po pierwszej wojnie światowej, kiedy to prof. Bronisław Piątkiewicz zorganizował w Krakowie pracownię fotogeodezyjną Ministerstwa Robót Publicznych. Odzwierciedlone w piśmiennictwie naukowym zainteresowanie fotogrametrią przypada dopiero na koniec lat dwudziestych (Sitek, Butowtt 1981). Wilczkiewicz (1930, s. 128) podaje, że o fotogrametrii pisali w swoich podręcznikach geodezji i topografii Kasper Weigel w 1925 r. oraz Józef Kreutzinger w 1928 r. Doceniano też znaczenie zdjęć lotniczych dla wojskowego rozpoznawania obiektów. Książkę E. Miłkowskiego, „*Odczytywanie zdjęć lotniczych*”, opublikowaną w 1931 r. (Linsenbarth 1981), możemy uważać za jedno z pierwszych polskich opracowań dotyczących teledetekcyjnego zastosowania zdjęć. Niestety, nie można z całą pewnością stwierdzić, czy istniały wówczas i ewentualnie w jakim zakresie, związki fotogrametrii z leśnictwem. Edmund Wilczkiewicz autor pierwszego polskiego podręcznika w całości poświęconego fotogrametrii – *Zasady zdjęć fotogrametrycznych* (1930) – koncentruje się niemal wyłącznie na zagadnieniach technicznych. Niewiele miejsca poświęcił zastosowaniom zdjęć naziemnych i lotniczych. Pisze m.in., że „Fotogrametria naziemna ma największe zastosowanie w terenie górzystym, skalistym, pokrytym na nieznaczących przestrzeniach lasami”. Postrzega zatem las jako utrudniający wykonanie zdjęć pomiarowych, a nie obiekt zainteresowania. Bez wątpliwości znalazł jednakże ówczesne znaczenie fotogrametrii lotniczej dla leśnictwa, skoro w spisie wykorzystanej literatury umieścił pracę (cyt.) „Redel: Das Flugzeug im Dienste der Forstwirtschaft. M.L.St. 1926”.

W latach dwudziestych XX w. fotogrametrię rozwijano w Polsce w dwóch ośrodkach naukowych – lwowskim i warszawskim. W obydwu istniały także uczelnie aka-

demickie kształcące leśników<sup>1</sup>. Politechnika Lwowska, z którą związani byli Kasper Weigel i Edmund Wilczkiewicz, posiadała Wydział Rolniczo-Lasowy. Fotogrametria była wykładana na różnych wydziałach Politechniki Lwowskiej, najpierw w ramach geodezji, a później jako samodzielny przedmiot, lecz w przeanalizowanych przez Jachimskiego (1991) programach nauczania nie ma wzmianki o studiach leśnych. Wiadomo jednak, że wśród wykładanych dla leśników przedmiotów były geodezja i urządzenie lasu. W SGGW zachowała się przedwojenna praca dyplomowa Wacława Szablowskiego „*Lotnictwo na usługach zarządzania lasu*”, przygotowana w 1929 r. pod kierunkiem prof. Władysława Jedlińskiego (Nowakowska 1999). Jak podaje Kryczyński (1968) lwowski program akademickiego nauczania leśników był podobny do innych, choć widoczny był bardziej jego politechniczny charakter. Grzywacz (2003) pisze, że różnice pomiędzy uczelniami kształcącymi leśników były znaczne i przejawiały się w „zróżnicowaniu charakteru nauczania, szczegółowych planów i programów kształcenia i sylwetki absolwenta”. Można zatem przypuszczać, że przynajmniej we Lwowie, elementy fotogrametrii znajdowały się wówczas w treściach nauczania leśników. Zauważmy jeszcze, że we wspomnieniach Rudzkiego (2007) znajduje się wzmianka o tym, że profesor Tadeusz Gieruszyński zajmował się problemem zastosowania zdjęć w polskim leśnictwie jeszcze przed 1939 rokiem.

Po II wojnie światowej trzeba było budować fotogrametrię niejako od początku – nie istniały przedwojenne instytucje i firmy fotogrametryczne, kadra była rozproszona, brakowało sprzętu i materiałów, w zniszczonych miastach trudno było zapewnić godziwe warunki lokalowe. Jednak już w 1945 r. zorganizowano Biuro Fotogrametryczne w Głównym Urzędzie Pomiarów Kraju, a zapotrzebowanie na opracowania fotogrametryczne zgłosiło aż sześć ministerstw, w tym Ministerstwo Leśnictwa – na fotoplany w skalach 1:5000 do 1:20000 (Dmochowski 1981). Fotogrametrią zajmują się wówczas także pracownicy zatrudnieni w leśnych ośrodkach naukowych. Instytut Badawczy Leśnictwa opublikował m.in. opracowania Gieruszyńskiego (1948) oraz Stanecznego (1951) dotyczące zastosowań zdjęć lotniczych do

<sup>1</sup> Po I wojnie światowej w 1919 r. odrodzona Polska miała trzy ośrodki akademickie, w których prowadzono studia leśne: Politechnikę Lwowską, Uniwersytet Poznański oraz Szkołę Główną Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie.

pomiarów oraz określania cech taksacyjnych i szacowania zasobów drzewnych lasów. Nie wiadomo jednak, jakie wówczas wykonywano prace na rzecz leśnictwa.

Szersze zastosowanie w leśnictwie znalazły zdjęcia lotnicze od drugiej połowy lat 50-tych XX w. Powstała wówczas w 1957 r. w Warszawie Pracownia Fotogrametrii w ramach Biura Urządzania Lasu i Projektów Leśnictwa. Pierwszym kierownikiem Pracowni został Krzysztof Rudzki, absolwent Leningradzkiej Leśno-Technicznej Akademii im. S. M. Kirowa, na której obronił pracę dyplomową dotyczącą zastosowania spektrostrefowych wielkoskalowych zdjęć lotniczych w urządzaniu lasu (Rudzki i Barszczewski 2007). W tym trudnym okresie wiele wysiłku włożono w zdobycie doświadczenia produkcyjnego i wyposażenia, a także pokonanie oporu wojska i klauzuli tajności – paraliżującej działalność w geodezji, kartografii i przede wszystkim fotogrametrii jeszcze przez wiele lat. Pierwsze opracowania (rozpoczęte w czerwcu 1957 r.) dotyczyły Puszczy Zgorzeleckiej, tj. nadleśnictw: Węgliniec, Ruszów i Jagodzin – i polegały na przygotowaniu opisów taksacyjnych drzewostanów, obrysów ich granic, wykonano też po raz pierwszy przetwarzanie zdjęć. Jesienią Pracownia wzbogaciła się o radzieckie stereometry STD-2 oraz przetwornik SEG-1 (Zeiss Jena, NRD). W 1957 r. wykonano jeszcze opracowania dla nadleśnictw: Złoczew i Brąszewice, Puszczy Białowieskiej (nadleśnictwa Hajnówka, Zwierzyniec, Narewka i część Browska). Przyszło się też zmierzyć z wykonawstwem opracowań dla górskiego nadleśnictwa Rzepedź. Przeprowadzono również pierwsze szkolenia pracowników urządzania lasu z korzystania ze zdjęć w pracach terenowych. W następnych latach zleceń na opracowania kolejnych nadleśnictw było coraz więcej. Do Pracowni zakupiono bodaj najnowocześniejszy wówczas autograf A-8 szwajcarskiej firmy Wild. Rozwijała się współpraca z Instytutem Geodezji i Kartografii, Zarządem Topograficznym Wojska Polskiego, uczelniami warszawskimi – pracownię odwiedzają studenci leśnictwa z SGGW i geografii z Uniwersytetu Warszawskiego – nawiązywane są kontakty zagraniczne. Pojawiają się także zamówienia spoza Lasów Państwowych, np. na opracowanie podkładu fotogrametrycznego dla Kampinoskiego Parku Narodowego oraz dla lasów komunalnych, głównie z Opolszczyzny i Dolnego Śląska. W tamtych czasach nie wykonywano zdjęć wyłącznie na potrzeby leśnictwa, lecz korzystano z materiałów powstających przy okazji innych „nieleśnych” projektów. Bardzo często nie obejmowały one całego obszaru, który był przedmiotem opracowania. Zdobyte doświadczenie stało się podstawą obszernego jak na owe czasy dzieła *„Fotogrametria w leśnictwie”* (Rudzki 1964). O fotogrametrii pisał Rudzki także w rozdziale *„Fotogrametria w leśnictwie”* wydanego w 1970 r. *„Poradnika leśnika”*. Pracownię Fotogrametrii rozwiązano w 1970 r., co wynikało z zakończenia w 1969 r. definitywnego urządzania lasu. Dorobek 12-letniej działalności Pracowni to opracowania dla przeszło 2,2 mln ha lasów, tj. blisko 1/3 arealu Lasów Państwowych (Rudzki i Barszczewski 2007).

Rozwiązanie Pracowni Fotogrametrii nie oznaczało rezygnacji z korzystania w leśnictwie z fotogrametrii. Zmieniły się formy organizacyjne. Wykonawstwo wielu prac fotogrametrycznych przeniesiono do oddziałów Biura Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej, na miejscu, w Zarządzie BULiGL wykonywano jeszcze opracowania terenów trudnych, pagórkowatych i górskich na autografie A-8. W dalszych latach daje się jednak zauważyć spadek zainteresowania fotogrametrią w leśnictwie. Rudzki i Barszczewski (2007) piszą, że Biuro Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej „z różnym nasileniem w poszczególnych cyklach urzędzeniowych, wykorzystywało techniki teledetekcyjne i fotogrametryczne do inwentaryzacji stanu lasu i opracowań kartograficznych (...). Zakres zastosowania teledetekcji i fotogrametrii limitowała jednak zawsze zasadność użycia tych technologii jako narzędzi dla osiągnięcia zamierzonego celu”. Wiele prac pomiarowych w urządzaniu lasu wykonywano tradycyjną metodą busolową, mimo wykazywanej wówczas ekonomicznej przewagi metod fotogrametrycznych (Arbatowski 1968). O pewnym regresie, trwającym ok. 30 lat, świadczy to jak często na potrzebę szerszego korzystania w leśnictwie z fotogrametrii zwracali uwagę autorzy licznych opracowań ukazujących się w piśmiennictwie naukowym, np. (Olenderek i Wilkowski 1991, Piekarski i in. 1992, Mozgawa i in. 2000). Pomimo licznych prac badawczych, techniki fotogrametryczne nie znalazły wówczas należnego im miejsca w leśnictwie. Jako przeszkody wymieniano następujące czynniki:

- mniejszą, w porównaniu do metod naziemnych, dokładność inwentaryzacji, nie akceptowaną w urządzaniu lasu;
- brak powszechnego dostępu do specjalistycznego sprzętu fotogrametrycznego;
- ograniczenia korzystania ze zdjęć lotniczych wynikające z objęcia materiałów fotogrametrycznych klauzulą tajności;
- znaczny koszt wykonania zdjęć fotogrametrycznych.

Wzrost zainteresowania w urządzaniu lasu teledetekcją i fotogrametrią staje się zauważalny dopiero w czwartej rewizji urządzania lasu zapoczątkowanej w 2003 r. (Zajączkowski 2007, s. 24-25, Szempliński 2007), co wynikało z szybkiego rozwoju systemów informacji geograficznej (GIS) oraz zwiększenia dostępności zdjęć lotniczych i satelitarnych. Przyczyniła się do tego także aktywność środowiska naukowego, które konsekwentnie rozwijało metody fotogrametrii i teledetekcji służące zdobywaniu informacji o lasach.

Prace badawcze dotyczące wykorzystania w leśnictwie fotogrametrii i teledetekcji prowadzono w Instytucie Geodezji i Kartografii w Warszawie, na Wydziałach Leśnych w Akademii Rolniczej (później Uniwersytecie Rolniczym) w Krakowie, Akademii Rolniczej (Uniwersytecie Przyrodniczym) w Poznaniu, Szkole Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie oraz Instytucie Badawczym Leśnictwa. Tutaj koncentrowały się badania dotyczące zastosowania fotogrametrii i teledetekcji do rozwiązywania różnych zagadnień wprost odnoszących się do gospodarki leśnej: sporządzania opracowań

kartograficznych, inwentaryzacji zapasu, oceny stanu zdrowotnego lasów, taksacji drzewostanów. Las, jako ekosystem i element krajobrazu, był przedmiotem badań prowadzonych z wykorzystaniem metod teledetekcji i fotogrametrii także w kilku innych krajowych ośrodkach naukowych.

Tematyka prowadzonych badań zawsze była ściśle związana z ważnymi problemami leśnictwa oraz dostępnymi w danym okresie metodami, narzędziami i technologiami fotogrametrii i teledetekcji. Wiele badań dotyczyło więc inwentaryzacji uszkodzeń lasów spowodowanych przez gradacje owadów, oddziaływania na lasy immisji przemysłowych, reakcji lasów na zmiany klimatu, doskonalenia metod inwentaryzacji lasów, w tym szacowania wielkości biomasy i ilości wiążanego przez lasy węgla, czy różnorodności biologicznej lasów. Miłowymi kamieniami technicznymi były wprowadzone do fotogrametrii i teledetekcji nowe sensory – analogowe, a później cyfrowe – umożliwiające wykonywanie zobrażeń w barwach naturalnych lub umownych (tj. spektrostrefowych, nazywanych także zdjęciami w barwach „fałszywych”) oraz zdjęć wielo- i hiperspektralnych. Fotogrametria przekształciła się z analogowej, przez analityczną w cyfrową. Zniesiono w dużym zakresie tajność zdjęć. Upowszechniło się oprogramowanie fotogrametryczne, a w teledetekcji rozwinięto cyfrowe metody przetwarzania obrazów. Większy jest obecnie dostęp do obrazów satelitarnych o coraz lepszej rozdzielczości przestrzennej, spektralnej, radiometrycznej i czasowej. Bardzo duże zastosowanie w leśnictwie znalazła technika lotniczego skanowania laserowego. Zdjęcia lotnicze mogą być pozyskiwane w krótkich cyklach technologicznych dzięki bezzałogowym statkom powietrznym z użyciem kamer nawet niemetrycznych. Opracowania i dane fotogrametryczne oraz teledetekcyjne, w tym np. ortofotomapy, przydatne w leśnictwie obejmują cały kraj i są udostępniane z państwowego zasobu.

W latach siedemdziesiątych badania naukowe dotyczyły wykorzystania prostych metod i narzędzi fotogrametrycznych do określania wybranych cech taksacyjnych drzewostanów. Koncentrowano się na tych cechach, których pomiarzenie podczas prac terenowych było uciążliwe lub czasochłonne. Stąd np. zainteresowanie metodami określania wysokości drzew i drzewostanu, zwarcia drzew, składu gatunkowego i form przestrzennego zmieszania gatunków (Piekarski 1972, 1973, 1974, 1980, i in., Mizgajski 1983). Druga połowa lat siedemdziesiątych to także narodziny teledetekcji leśnej (Ciołkosz i Bychawski 1985, Mozgawa 1977, 1980). W połowie lat osiemdziesiątych powstały opracowania będące wstępem do numerycznego przetwarzania obrazów (Będkowski 1984, Mozgawa i Będkowski 1984, Będkowski i Kamińska 1986), a później wykazano przydatność zdjęć w stratyfikacji lasów, wykonywanej metodami numerycznymi, na potrzeby inwentaryzacji zapasu (Piekarski i Będkowski 1991). Zdjęcia lotnicze, wówczas jeszcze panchromatyczne, były także podstawą do studiów nad strukturą drzewostanów (Mozgawa 1984) i interesującej koncepcji zastosowania fotointerpretacji

do modelowania rozwoju drzewostanów w ujęciu teorii systemów (Mozgawa 1985).

Przełom lat siedemdziesiątych i osiemdziesiątych XX w. to dynamiczny rozwój teledetekcyjnych metod określania stanu zdrowotnego drzewostanów. Badania w tym zakresie prowadzono głównie w Instytucie Geodezji i Kartografii w Warszawie i utworzonym w nim w 1975 r. Ośrodku Przetwarzania Obrazów Lotniczych i Satelitarnych (OPOLiS). Jednym z pierwszych projektów był eksperyment „TELEFOTO-77”, będący częścią programu INTERKOSMOS, w ramach którego testowano przydatność zdjęć i obrazów wielospektralnych i poszczególnych zakresów widma w gospodarce, w tym na potrzeby leśnictwa (Kaczyński 1978). Eksperyment był skorelowany z lotem pierwszego polskiego kosmonauty mjr. Mirosława Hermaszewskiego. Dalsze badania dotyczyły przede wszystkim wykorzystania zdjęć spektrostrefowych (po raz pierwszy) do oceny stopnia uszkodzenia lasów sosnowych spowodowanego przez gradacje owadów i immisje przemysłowe (Bychawski i Iracka 1978, Iracka 1981, Linsenbarth 1981, Bychawski i in. 1984, Iracka 1991). Określone został nieznan dotąd zależności między barwą koron sosen odftotografowanych na zdjęciach spektrostrefowych i stanem zdrowotnym drzew (Ciołkosz i Bychawski 1985). Opracowana metoda została przyjęta przez leśników, a w postaci technologii wykorzystano ją później do oceny stanu lasów sosnowych w wielu rejonach kraju, m.in. w Kozienicach, Borach Tucholskich, Puszczy Knyszyńskiej i w okolicy Katowic. Dodajmy, że pierwszą próbę zastosowania zdjęć spektrostrefowych (użyto film radziecki dwuwarstwowy SN6) do oceny stanu drzewostanów dębowych podjęto w 1987 r. BULiGL w Warszawie przeprowadziło wówczas badania lasów na obszarze ok. 700 ha w Nadleśnictwie Krotoszyn (Barszczewski 1991).

Instytut Geodezji i Kartografii badał także przydatność fotogrametrycznej metody opracowania treści leśnych map gospodarczych w skali 1:5000. Zastosowany w tym celu instrument Topofleks okazał się w pełni przydatnym przy opracowywaniu zdjęć w skali ok. 1:16000, szczególnie efektywne były opracowania zdjęć o niewielkim stopniu nachylenia i dla terenów o niedużych deniwelacjach (Wilkowski 1985).

Na potrzeby leśnictwa wykonywano także opracowania kartograficzne na podstawie obrazów satelitarnych. Były to zdjęcia radzieckie satelitów Kosmos i ze stacji Salut 6, amerykańskich satelitów teledetekcyjnych serii Landsat i francuskiego SPOT (Wilkowski 1985, Zawila-Niedźwiecki 1991). Na mapie lasów Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej w skali 1:500 000, zaprezentowano m.in. lasy iglaste silnie zniszczone przez immisje przemysłowe. W tej samej skali wykonano mapę źródeł emisji i zasięgu rozprzestrzeniania się szkodliwych dla lasów pyłów i gazów. Inne opracowania na bazie obrazów satelitarnych to eksperymentalna mapa użytkowania lasu 1:200 000 (zastosowano obrazy Salut 6) i mapa lasów Okręgowego Zarządu Lasów Państwowych w Gdańsku 1:300 000 (z wyk. obrazów Landsat). We współpracy z BULiGL oraz Państwowym Przedsiębiorstwem

Geodezyjno-Kartograficznym wykonano mapy zdrowotnego i sanitarnego stanu ok. 70 tys. ha lasów Sudetów, opracowane w skali 1:10 000 na podstawie zdjęć lotniczych i i satelitarnych (Wilkowski 1985, Poławski i Zawila-Niedźwiecki 1987). Wykonano także obszerne studia nad zastosowaniem obrazów cyfrowych z poszczególnych kanałów satelitów SPOT, Landsat i Kosmos do wnioskowania o składzie gatunkowym oraz stanie zdrowotnym lasów. Obrazy te pochodziły z różnych sensorów, różniły się rejestrowanymi kanałami spektralnymi, miały też różną rozdzielczość przestrzenną, jednak potwierdzono znany z literatury ich potencjał interpretacyjny. Stwierdzono, że już przy ówczesnym stanie techniki i wiedzy teledetekcyjnej można było zastosować obrazy satelitarne w leśnictwie polskim (Zawila-Niedźwiecki 1991). W kolejnych latach w czasopismach naukowych leśnych oraz geodezyjnych ukazywało się coraz więcej publikacji dotyczących wykorzystania obrazów satelitarnych w leśnictwie (m.in. Poławski 1990, Poławski i Zawila-Niedźwiecki 1995, Bochenek i in. 1997, Zawila-Niedźwiecki i Wiśniewska 2004). Należy zwrócić uwagę na obszerne opracowanie Zawily-Niedźwieckiego (1994).

Przez pewien dosyć krótki okres czasu społeczność teledetekcyjna zainteresowała się techniką wideo, jako sposobem na gromadzenie danych obrazowych o lasach. Atutem tej techniki obrazowania były przede wszystkim możliwość ciągłej rejestracji obrazów, dostęp do kamer VHS i SVHS, najpierw analogowych a później także cyfrowych, oraz urządzeń do odtwarzania obrazów. Do poklatkowego przetwarzania obrazów stosowano specjalne karty *frame grabber* – przechwycone w odpowiedniej sekwencji obrazy pozwalały także na uzyskiwane efektu stereoskopowego. Powstało kilka dokumentacji i publikacji (Mozgawa i in. 1994, Będkowski i Mozgawa 1994). Mimo obiecujących wyników, prac nad techniką wideo nie kontynuowano, na co miała wpływ zdecydowanie zbyt niska rozdzielczość przestrzenna, zniekształcenia geometryczne oraz złożone problemy dotyczące orientacji wewnętrznej i zewnętrznej obrazów.

Lata dziewięćdziesiąte to w fotogrametrii rozwój technik cyfrowych. Pojawiły się fotogrametryczne stacje cyfrowe, w tym polskie rozwiązanie w postaci Video-Stereo-Digitizera, opracowanego w AGH w Krakowie (Jachimski i in. 1994). Od tego momentu praktycznie każdy posiadacz średniej klasy komputera mógł wykonywać opracowania fotogrametryczne na własny użytek. Początkowo szczególnie uciążliwe było przetwarzanie analogowych wówczas zdjęć na postać cyfrową, z zachowaniem odpowiedniej dokładności geometrycznej. Jeszcze więcej problemów przysparzało przechowywanie obrazów o zawrotnej jak na owe czasy objętości rzędu 20÷30 MB. Za pomocą stacji cyfrowych VSD, a później i innych (Dephos, DVP, PCI Geomatica) wykonano w SGGW i ówczesnej Akademii Rolniczej w Krakowie, wiele pomiarów do opracowań naukowych dotyczących wybranych cech przestrzeni lasów i inwentaryzacji zapasu (Będkowski 1994, Wężyk i Pyrkosz 1999, Wężyk i Guzik 2004, Będkowski 2005). Miścicki (Miścicki 2000, Bańkowski i Miścicki 2008) kierował pracami nad

zastosowaniem pomiarów fotogrametrycznych w dwufazowych metodach inwentaryzacji zapasu drzewostanów, w których pobierano próby naziemne oraz znacznie więcej na zdjęciach lotniczych. Powierzchnie próbne opracowane obydwoma metodami służyły do odpowiedniej „kalibracji” modelu matematycznych zależności. Podjęto także studia nad przestrzennym rozmieszczeniem w lasach szkód spowodowanych przez huragany (Będkowski i Norman 2002, Wężyk 2006, Boncol i Wężyk 2012). Technologię VSD testowały także służby urzędowania lasu, np. w Oddziale BULiGL w Brzegu i Przemyślu. Obserwacja stereoskopowa daje możliwość lepszego rozpoznania budowy przestrzennej lasu, określenia i pomiaru granic drzewostanów i wielu elementów taksacyjnych (liczba i wysokość drzew, wielkość koron, zwarcie, skład gatunkowy, stan zdrowotny drzew), a także ich przestrzennej zmienności, wymaga jednakże dużych nakładów pracy. Jest mało wydajna, niezbędna jest umiejętność dobrego widzenia stereoskopowego i interpretacji obrazu trudnego dla pomiaru fotogrametrycznego obiektu, a sama praca z urządzeniami optycznymi jest bardzo nużąca. Mimo wielu zalet, technologia stereoskopowa nie cieszy się dużym zainteresowaniem u leśników. Moim zdaniem niesłusznie. Niezbędne jest zapewne jeszcze wdrożenie tutaj innych, bardziej przyjaznych dla użytkownika rozwiązań, a znanych już w fotogrametrii, jak np. korelacji obrazów i stereoskopowych ortofotomap.

Prawdziwa rewolucja w badaniach naukowych i zastosowaniach fotogrametrii i teledetekcji dokonuje się na naszych oczach od początku XXI wieku. Dwie okoliczności sprzyjają bardzo ponownemu zainteresowaniu fotogrametrią i teledetekcją – pojawienie się technologii skanowania laserowego (LiDAR) oraz bezzałogowych statków powietrznych (pl. BSP; ang. UAV). Zaowocowało to niezmiernie dużą liczbą badań naukowych i publikacji w świecie i w kraju, w tym także dotyczących leśnictwa. Zalety technologii skanowania laserowego polegają na tym, że w krótkim czasie można otrzymać bardzo dokładne dane przestrzenne dotyczące dużych obszarów. Dane te posiadają odpowiednie odniesienie przestrzenne, są obrazem rzeczywistości odwzorowanym w rzucie ortogonalnym, a więc bez wad typowych dla zdjęć lotniczych, i udostępniane w postaci umożliwiającej ich bezpośrednio wykorzystanie w powszechnych już systemach informacji przestrzennej. Pierwsze ślady zainteresowania skanowaniem laserowym w polskim leśnictwie pojawiają się w 2004 r. (Będkowski 2004). Wkrótce uruchomiono projekty badawcze na Wydziałach Leśnych w SGGW oraz AR (obecnie Uniwersytet Rolniczy) w Krakowie, Instytucie Badawczym Leśnictwa w Warszawie oraz w AR (obecnie Uniwersytet Przyrodniczy) w Poznaniu. Badano także możliwości zastosowania w leśnictwie techniki naziemnego skanowania laserowego – liczne prace w tym zakresie prowadzono na UR w Krakowie oraz w Uniwersytecie Przyrodniczym w Poznaniu.

Badania nad lidarem lotniczym koncentrowały się początkowo na opracowaniu metod określania podstawowych cech taksacyjnych drzewostanów. Głównie

interesowano się dokładnością uzyskiwanych przy pomocy lidara numerycznego modelu terenu (NMT) i numerycznego modelu pokrycia terenu (NMPT) i ich zastosowaniem do wyznaczania wysokości drzew i drzewostanów (Będkowski i in. 2008, Wężyk i in. 2008, Stereńczak 2010, Wężyk i in. 2010a, Zasada i in. 2011), określania zagęszczenia – liczby drzew (Chirrek i in. 2007a, Wężyk 2008, Stereńczak 2009, Tompalski i in. 2009, Wężyk i Tompalski 2010, Miścicki i Stereńczak 2013), wreszcie strukturą pionową drzewostanów (Będkowski i Stereńczak 2008, Myszkowski i Ksepko 2010), a także zastosowaniem skanowania wiosennego i letniego do klasyfikacji drzewostanów (Stereńczak i Będkowski 2011) i określania zapasu lub biomasy drzewostanów (Strzeliński i in. 2012). Powrócono do koncepcji dwufazowej metody inwentaryzacji zapasu drzewostanu lecz tym razem z zastosowaniem danych skanowania laserowego (Miścicki i Stereńczak 2012, 2013). Podejmowano próby integrowania danych lidarowych z systemów lotniczych i naziemnych oraz z obrazami uzyskiwanymi z systemów optycznych (Dmyterko 2009, Tompalski i in. 2009, 2010b). Naziemne skanowanie laserowe testowano w kierunku uzyskiwania tą drogą dokładnych danych o rozmieszczeniu drzew na powierzchniach próbnych, ich wymiarów i objętości drewna – głównie na potrzeby zakładania powierzchni próbnych wykorzystywanych w inwentaryzacji drzewostanów oraz do sporządzania szacunków brakarskich, czyli przewidywania jakości i ilości asortymentów drzewnych możliwych do uzyskania z drzewostanów przeznaczonych do wycinki (Wężyk i Sroga 2010, Wężyk i in. 2012, Strzeliński i in. 2007a, Strzeliński i in. 2014) a także zakumulowanego w lasach węgla (Strzeliński i in. 2007b). Prace nad zastosowaniem danych lidarowych lotniczych i naziemnych są coraz bardziej zaawansowane, zarówno od strony teoretycznej, jak i technologicznej.

Odnosić należy także zainteresowanie zdjęciami hemisferycznymi. Cyfrowo przetworzone hemisferyczne obrazy koron drzew (okapu drzewostanu) wiązano z ilością światła docierającego do wnętrza drzewostanu (Strzeliński 2006) oraz indeksem powierzchni liści *LAI* – *Leaf Area Index*, wielkością biomasy i zakumulowanego węgla (Strzeliński i in. 2007, Chirrek 2007b, Chojnicki i in. 2010).

Wykonawstwo zdjęć lotniczych przez wiele lat pozostawało w gestii kilku wyspecjalizowanych przedsiębiorstw, które nie zawsze mogły zapewnić realizację zamówień w odpowiednim dla uchwycenia zjawisk przyrodniczych momencie. Nic zatem dziwnego, że bardzo duże nadzieje wiązane są z nowymi platformami fotogrametrycznymi i teledetekcyjnymi, jakimi są bezzałogowe statki powietrzne (BSP). Opracowane w kraju rozwiązania konstrukcyjne BSP nie ustępują zagranicznym, interesujące są także wyniki dotychczas wykonanych z ich użyciem prac fotogrametrycznych i teledetekcyjnych (Zmarz 2009, Zmarz i Plutecki 2010, Zmarz i in. 2012, Stereńczak i Będkowski 2013, Szymański 2014).

Fotogrametria i teledetekcja leśna doczekały się szeregu opracowań w postaci wydawnictw zwartych

– książek i podręczników akademickich. Oprócz wspomnianych już dzieł Gieruszyńskiego (1948) i Rudzkiego (1964, 1970), elementy fotogrametrii są także w podręczniku Łabęckiego – „*Geodezja leśna*” (1978 i późn. wydania) – dziele na którym wykształciło się całe pokolenie specjalistów urządzania lasu oraz leśników – geodetów. Barszczewski (2005) opracował rozdział poświęcony fotogrametrii i teledetekcji do „*Poradnika urządzania lasu*” (pod red. Ważyńskiego). Pojawiły się też opracowania w całości poświęcone fotogrametrii i teledetekcji: Piekarski (1996 i późn.), Adamczyk i Będkowski (2005, wyd. II 2007), Będkowski i Piekarski (2014). Centrum Informacyjne Lasów Państwowych wydało „*Geomatykę w Lasach Państwowych. Cz. 1. Podstawy*” (Okła 2010). Część druga, poświęcona zastosowaniom, ukazała się w 2013 r.

Jaka jest naukowa przyszłość fotogrametrii i teledetekcji w polskim leśnictwie? To zapewne pogłębione studia nad wykorzystaniem techniki obiektowej analizy obrazów – badania z tego zakresu prowadzono już na SGGW oraz UR w Krakowie (Adamczyk 2006, Adamczyk i Będkowski 2006, Wężyk i de Kok 2005; Wężyk i in. 2012) – obrazów hiperspektralnych (Wężyk, Wertz 2005) oraz satelitarnych obrazów radarowych. Dużo interesujących zastosowań znajdują zapewne bezzałogowe statki powietrzne. Przyczynią się do tego istniejące już osiągnięcia techniczne – miniaturyzacja kamer wielo- i hiperspektralnych oraz skanerów laserowych, a także rozwój metod przetwarzania obrazów (np. korelacji obrazów) i danych lidarowych oraz radarowych. Zmieniać będzie się też zakres tematyczny badań – punkt ciężkości przesuwać się będzie z zagadnień dotyczących inwentaryzacji zapasu drzewostanów na śledzenie dynamicznych procesów przyrody ożywionej i nieożywionej, np. rozwoju chorób, gradacji owadów, zjawisk fenologicznych, owocowania drzew leśnych, a także monitoring przeciwpożarowy lasów i pożarniczych akcji ratowniczych, rozwoju powodzi i in. Nowoczesne techniki fotogrametrii i teledetekcji powinny także dostarczyć nowych danych przydatnych do wykrycia i oceny znaczenia czynników przyrodniczych oraz kształtowanych przez człowieka, wpływających na szeroko rozumianą odporność lasu.

W praktyce gospodarki leśnej informacja obrazowa będzie bardzo szybko zyskiwać coraz więcej zastosowań. Już obecnie szeroko korzysta się przy pracach urządzania lasu z ortofotomap, a nowe generacje satelitów i samoloty bezzałogowe w krótkim czasie dostarczą dane, które będą wykorzystywane operacyjnie, w bieżącym zarządzaniu lasami.

Autor starał się przedstawić rozwój fotogrametrii i teledetekcji w leśnictwie na tle historycznym i postępu technicznego. Nie sposób jednak w krótkim artykule omówić wszystkie znane inicjatywy naukowe i działania praktyczne na tym polu. Wybór zaprezentowany w niniejszym opracowaniu należy traktować zatem jedynie jako subiektywną próbę podsumowania kilkudziesięcioletnich związków fotogrametrii i teledetekcji z leśnictwem. Szersze badania naukowe, jeśli zostaną podjęte, odsłonią zapewne jeszcze wiele interesujących faktów.

## Literatura

- ADAMCZYK J., 2006. *Obiektowa analiza obrazów*. Roczniki Geomatyki, T. IV, z. 3, s. 11-22.
- ADAMCZYK J., BĘDKOWSKI K., 2005 (Wyd. II 2007). *Metody cyfrowe w teledetekcji*. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- ADAMCZYK J., BĘDKOWSKI K., 2006. *Analiza obiektowa jako metoda poprawy jakości klasyfikacji*. Roczniki Geomatyki, T. IV, z. 4, s. 37-46.
- ARBATOWSKI S., 1968. *Analiza porównawcza kosztów wyznaczania granic wyląceń drzewostanowych, w urzędowaniu lasu, metodami fotogrametryczną i busolową*. Sylwan, T. CXII, z. 3, s. 41-50.
- BAŃKOWSKI J., MIŚCICKI S., 2008. *Wykorzystanie zdjęć lotniczych w urzędowaniu Nadleśnictwa Milicz*. Roczniki Geomatyki, T. VI, z. 8, s. 29-40.
- BARSZCZEWSKI W., 1991. *Próba oceny zdrowotnego stanu drzewostanów dębowych w Nadleśnictwie Krotoszyn w oparciu o spektrostrefowe zdjęcia lotnicze*. [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. 7-12.
- BARSZCZEWSKI W., 2005. *Zastosowanie teledetekcji w urzędowaniu lasu oraz w inwentaryzacjach określających stan lasu*. [W:] Ważyński B. (red.), *Poradnik urzędowania lasu*. Oficyna Edytorska „Wydawnictwo Świat”, Warszawa, s. 469-474.
- BĘDKOWSKI K., 1984. *Aproksymacja trygonometryczna mikrodensytoqramów zdjęć lotniczych drzewostanów sosnowych różnych klas wieku*. Przegląd Geodezyjny, 56 (7), s. 9-11.
- BĘDKOWSKI K., 1994. *Video-Stereo-Digitizer i możliwości jego zastosowania w przetwarzaniu treści obrazów leśnych*. Las Polski, nr 4, s. 16-17.
- BĘDKOWSKI K., 2004. *Skanowanie laserowe i jego zastosowanie w leśnictwie*. Roczniki Geomatyki, T. II, z. 4, s. 33-40.
- BĘDKOWSKI K., 2005. *Fotogrametryczna metoda oceny stanu i zmian wysokościowej struktury warstwy koron w drzewostanach*. Rozprawy i Monografie Naukowe. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- BĘDKOWSKI K., BRACH M., STEREŃCZAK K., 2008. *Numeryczny model terenu obszaru zalesionego utworzony na podstawie skanowania laserowego i jego dokładność*. Roczniki Geomatyki, T. VI, z. 8, s. 49-53.
- BĘDKOWSKI K., KAMIŃSKA G., 1986. *Rejestracja różnicowania tonalnego obrazów lotniczych terenów leśnych przy różnych odstępach skanowania*. Przegląd Geodezyjny, 58 (4), s. 11-13.
- BĘDKOWSKI K., MOZGAWA J., 1994. *Zmienność odwzorowania lasów na lotniczych obrazach wideo*. Fotointerpretacja w Geografii, T. 24, s. 113-120.
- BĘDKOWSKI K., NORMAN H., 2002. *Zastosowanie technik geomatycznych do analizy rozmiaru i rozmieszczenia szkód spowodowanych w lasach przez huraganowe wiatry*. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, Vol. 12a, s. 37-48.
- BĘDKOWSKI K., STEREŃCZAK K., 2008. *Przestrzenny rozkład punktów odbić impulsów skanera laserowego a wybrane cechy drzewostanu*. Roczniki Geomatyki, T. VI, z. 8, s. 55-60.
- BOCHENEK Z., CIOŁKOSZ A., IRACKA M., 1997. *Zmiany stanu lasów w Sudetach Zachodnich na podstawie analizy zdjęć satelitarnych*. Prace Instytutu Geodezji i Kartografii T. XLIV, z. 95, s. 73-93.
- BONCOL B., WĘŻYK P., 2012. *Fotogrametryczne opracowanie skutków huraganu na obszarze nadleśnictwa Koszęcin*. Roczniki Geomatyki, T. X, z. 5(55), s. 27-35.
- 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.
- CHIRREK M., WENCEL A., STRZELIŃSKI P., STEREŃCZAK K., ZASADA M., ZAWIŁA-NIEDŹWIECKI T. 2007a. *Lotniczy skaning laserowy jako źródło danych dla systemu informacji przestrzennej nadleśnictwa*. Roczniki Geomatyki, T. V., z. 3, s. 19-28.
- CHIRREK M., STRZELIŃSKI P., WENCEL A., ZAWIŁA-NIEDŹWIECKI T., ZASADA M., JAGODZIŃSKI A., 2007b. *Wybrane zdalne metody szacowania biomasy roślinnej w ekosystemach leśnych jako podstawa systemu raportowania bilansu węgla*. Roczniki Geomatyki, T. V, z. 4, s. 7-16.
- CIOŁKOSZ A., BYCHAWSKI W., 1985. *Teledetekcja w Instytucie Geodezji i Kartografii*. [W:] Instytut Geodezji i Kartografii 1945-1985. Sesja naukowa z okazji 40-lecia działalności Instytutu Geodezji i Kartografii. Biuletyn Informacyjny, T. XXX, nr 1-2, s. 39-47.
- CHOJNICKI B.H, STRZELIŃSKI P., DANIELEWSKA A., BARAN M., 2010. *Tree canopy leaf area index (LAI) measurements with the hemispherical photography at a Tuczno forest*. [In:] B. Chojnicki (ed.). Atmospheric heat and mass exchange research. Acta Agrophysica, Vol. 179, s. 89-101.
- DMOCHOWSKI S., 1981. *Blaski i cienie fotogrametrii cywilnej w Polsce od założenia Polskiego Towarzystwa Fotogrametrycznego do 1980 roku*. [W:] Sympozjum poświęcone 50-leciu Polskiego Towarzystwa Fotogrametrycznego. Wydawnictwo Czasopism i Książek Technicznych SIGMA, Warszawa, s. 14-29.
- DMYTERKO E., 2009. *Działalność badawcza Instytutu Badawczego Leśnictwa w zakresie urzędowania lasu*. [W:] Zieleny R. (red.) Kształcenie i badania w zakresie urzędowania lasu na wydziałach leśnych w Polsce. Wydawnictwo SGGW, Warszawa, s. 237-246.
- GIERUSZYŃSKI T., 1948. *Zastosowanie fotogrametrii przy urzędowaniu gospodarstw leśnych*. Instytut Badawczy Leśnictwa, Warszawa.
- GRZYWACZ A., 2003. *Studia leśne w systemie szkolnictwa wyższego w Polsce*. [W:] Grzywacz A. (Red.): *Potrzeby przeobrażeń studiów leśnych w Polsce*. Polskie Towarzystwo Leśne, Warszawa, s. 5-19.
- HILDEBRANDT G., 1987. *100 Jahre forstliche Luftbildaufnahme – zwei Dokumente aus den Anfängen der forstlichen Luftbildinterpretation*. Bildmessung und Luftbildwesen, 55, s. 221-224.
- HUSS J., AKÇA A., HILDEBRANDT G., KENNEWEG H., PEERENBOOM H.G., RHODY B., 1984. *Luftbildmessung und Fernerkundung in der Forstwirtschaft*. Herbert Wichmann Verlag, Karlsruhe.
- 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.
- JACHIMSKI J., 1991. *Historyczny przegląd programów nauczania fotogrametrii i teledetekcji w technicznych, rolniczych i artystycznych wyższych uczelniach w Polsce*. [W:] 60-lecie Polskiego Towarzystwa Fotogrametrycznego. Sympozjum Naukowe, Warszawa, 22-24.V.1991 r., Cz. I. Polskie Towarzystwo Fotogrametrii i Teledetekcji. Sekcja Naukowa Stowarzyszenia Geodetów Polskich, s. 77-107.
- JACHIMSKI J., BOROŃ A., ZIELIŃSKI J., 1994. *Video Stereo Digitizer i wstępna ocena dokładności pomiaru wielkoskalowych zdjęć*. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, Vol. 1, s. 11-1-11-13.
- KACZYŃSKI R., 1978. *Eksperyment „TELEFOTO-77”*. Biul. Informac. BOINTiE Geodezji i Kartografii T. XXIII, nr 5, s. 29-46.
- KRYCZYŃSKI W., 1968. *150 lat studiów leśnych w Polsce*. Sylwan, z. 6, s. 69-97.
- LINSENBARTH A., 1981. *Rozwój fotointerpretacji i teledetekcji w Polsce*. [W:] Sympozjum poświęcone 50-leciu Polskiego Towarzystwa Fotogrametrycznego. Wydawnictwo Czasopism i Książek Technicznych SIGMA, Warszawa, s. 45-55.
- ŁABĘCKI Z., 1978. *Geodezja Leśna*. (Wyd. II), PWRiL, Warszawa.
- MIŚCICKI S. (red.), 2000. *Kombinowana dwufazowa inwentaryzacja lasów nizinnych z wykorzystaniem zdjęć lotniczych i stałych – kontrolnych powierzchni próbnych*. Wyd. Fundacja Rozwój SGGW.
- MIŚCICKI S., STEREŃCZAK K. 2012. *Wykorzystanie cech określonych na podstawie wysokościowego modelu koron w dwufazowej metodzie inwentaryzacji zapasu drzewostanu*. Roczniki Geomatyki, T. 10, z. 5(55), s. 47-54.
- MIŚCICKI S., STEREŃCZAK K., 2013. *Określanie miąższości i zagęszczenia drzew w drzewostanach Centralnej Polski na podstawie danych lotniczego skanowania laserowego w dwufazowej metodzie inwentaryzacji zapasu*. Leśne Prace Badawcze, 74 (2), s. 127-136.
- MIZGAJSKI A., 1983. *Przydatność lotniczych obrazów wielospektralnych do badania zróżnicowania lasów na przykładzie z Wielkopolskiego Parku Narodowego*. Fotointerpretacja w Geografii VI(16), Prace Nauk. Uniw. Śląskiego, nr 558, s. 91-109.
- MOZGAWA J., 1977. *Teledetekcyjna metoda badania obszarów leśnych*. Sylwan, T. CXXI, z. 5, s. 33-40.
- MOZGAWA J., 1980. *Lotnicze fotografie wielospektralne jako źródło informacji o obszarach leśnych*. Sylwan, T. CXXIV, z. 11, s. 11-20.
- MOZGAWA J., 1984. *Badania nad charakterystykami rozmieszczenia drzew w drzewostanach sosnowych*. [W:] IV Seminarium n.t. „Optymalizacja pomiarów geodezyjnych”. Wyd. Politechniki Warszawskiej, Warszawa, s. 67-78.
- MOZGAWA J., 1985. *Metodologiczne podstawy wykorzystania fotointerpretacji do modelowania systemowego w drzewostanach*. Rozprawy naukowe i monografie. Wydawnictwo SGGW-AR, Warszawa.
- MOZGAWA J., BĘDKOWSKI K., 1984. *Analiza mikrodensytogramów wielospektralnych zdjęć lotniczych jako źródło informacji o cechach taksacyjnych drzewostanów*. [W:] IV Seminarium na temat: Optymalizacja pomiarów geodezyjnych. Wyd. Politechniki Warszawskiej, Warszawa, s. 79-93.
- MOZGAWA J., PIEKARSKI E., BĘDKOWSKI K., 2000. *Fotogrametria i teledetekcja w leśnictwie polskim*. [W:] Smykała J. (Red.), Stan i perspektywy badań z zakresu zarządzania lasu i ekonomiki leśnictwa. Materiały IV Konferencji Leśnej. Sękocin Las, 13-14 czerwca, s. 165-175.
- MOZGAWA J., OLENDEREK H., PIEKARSKI E., BORECKI T., BĘDKOWSKI K., KORPETTA D., KAMIŃSKA G., KARASZKIEWICZ W., 1994. *Interpretacja uszkodzeń drzewostanów na lotniczych obrazach wideo*. Fundacja Rozwój SGGW, Warszawa.
- MYSZKOWSKI M., KSEPKO M., 2010. *Budowa pionowa drzewostanu w świetle przestrzennego rozkładu punktów lotniczego skanowania laserowego*. Roczniki Geomatyki, T. VIII, z. 7(43), s. 37-47.
- NOWAKOWSKA J., 1999. *Zarys historii Zakładu Urządzania Lasu SGGW*. [W:] 80 lat Zakładu Urządzania Lasu w SGGW. Wyd. Fundacji „Rozwój SGGW”, Warszawa, s. 5-16.
- OKŁA K. (red.), 2010. *Geomatyka w Lasach Państwowych, Cz. I. Podstawy*. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa.
- OLENDEREK H.; WILKOWSKI W., 1991. *Fotogrametria w leśnictwie – stan aktualny i prognoza*. [W:] 60-lecie Polskiego Towarzystwa Fotogrametrycznego. Sympozjum Naukowe, Warszawa, 22-24.V.1991 r., Cz. II. Polskie Towarzystwo Fotogrametrii i Teledetekcji. Sekcja Naukowa Stowarzyszenia Geodetów Polskich, s. 139-145.
- PIEKARSKI E., 1972. *Czynniki wpływające na dokładność określania wysokości drzew stereoskopowymi przyrządami fotogrametrycznymi*. Zeszyty Naukowe SGGW, Leśnictwo, 17, s. 135-153.
- PIEKARSKI E., 1973. *Dokładność określania wysokości drzew na terenach górzystych stereoskopowymi metodami fotogrametrycznymi*. Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej, Leśnictwo, 19, s. 207-227.
- PIEKARSKI E., 1974. *Niektóre fotogrametryczne metody określania wysokości drzew i drzewostanów*. Sylwan, T. CXVIII, z. 8, s. 46-53.
- PIEKARSKI E., 1980. *Konturowe odczytywanie treści zdjęć lotniczych dla potrzeb zarządzania lasu*. Przegląd Geodezyjny, 52 (11), s. 380-381.
- PIEKARSKI E., 1996 (Wyd. II 2001). *Podstawy fotogrametrii i fotointerpretacji leśnej*. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- PIEKARSKI E., BĘDKOWSKI K., 1991. *Wykorzystanie zdjęć lotniczych w stratyfikacji drzewostanów*. Przegląd Geodezyjny, LXIII (8), s. 17-18.
- PIEKARSKI E., BĘDKOWSKI K., 1991. *Fotografia lotnicza jako źródło informacji o lesie – fotogrametryczna taksacja drzewostanów i inwentaryzacja zapasu*. [W:] Metody oceny stanu i zmian zasobów leśnych. Wydawnictwo SGGW-AR, Warszawa, s. 105-118.
- PIEKARSKI E., OLENDEREK H., KORPETTA D., 1992. *Fotogrametria i systemy informacji przestrzennej w zarządzaniu lasu, w warunkach polskich*. Mat. Sympozjum „Urządzanie lasu – stan i perspektywy rozwoju”, IBL, Warszawa.
- POŁAWSKI Z.F., 1990. *Teledetekcyjny monitoring lasów na przykładzie Sudetów*. Biul. Informac. BOINTiE Geodezji i Kartografii, T. XXXV, nr 1, s. 8-11.
- POŁAWSKI Z.F., ZAWIŁA-NIEDŹWIECKI T., 1987. *Teledetekcja w ocenie stanu środowiska leśnego Sudetów Zachodnich*. Sylwan, T. CXXXI, z. 5, s. 49-60.
- POŁAWSKI Z.F., ZAWIŁA-NIEDŹWIECKI T., 1995. *System informacji przestrzennej w analizie stanu lasu Sudetów z wykorzystaniem danych teledetekcyjnych*. Sylwan, T. CXXXIX, z. 8, s. 73-86.
- RUDZKI K., 1964. *Fotogrametria w leśnictwie*. PWRiL, Warszawa.
- RUDZKI K., 1970. *Fotogrametria w leśnictwie*. [W:] Poradnik leśnika. SITLiD, Warszawa.
- RUDZKI K., BARSZCZEWSKI W., 2007. *Pracownia Fotogrametrii*. [W:] Zajączkowski S. (red.), 50 lat Biura Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej w służbie polskiego leśnictwa, Ośrodek Rozwojowo-Wdrożeniowy Lasów Państwowych w Bedoniu, Wyd. I, Warszawa, s. 70-82.

- SITEK Z., BUTOWTT J., 1981. *Fotogrametria polska – badania naukowe i szkolnictwo*. [W:] Sympozjum poświęcone 50-leciu Polskiego Towarzystwa Fotogrametrycznego. Wydawnictwo Czasopism i Książek Technicznych SIGMA, Warszawa, s. 69-75.
- STANECKI M., 1951. *Wykorzystanie i dokładność prostych metod fotogrametrycznych przy sporządzaniu planów i map obiektów leśnych*. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa.
- STEREŃCZAK K., 2009. *Single tree detection based on airborne LiDAR (ALS) data*. *Annals of Geomatics*, Vol. VII, no. 2(32), s. 121-126.
- STEREŃCZAK K., 2010. *Technologia lotniczego skanowania laserowego jako źródło danych w półautomatycznej inwentaryzacji lasu*. *Sylvan*, T. 154, z. 2, s. 88-99.
- STEREŃCZAK K., BĘDKOWSKI K., 2011. *Wykorzystanie numerycznego modelu terenu i modelu pokrycia terenu do klasyfikacji drzewostanów na podstawie ich struktury pionowej i gatunkowej*. *Sylvan*, T. 155, z. 4, s. 219-227.
- 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.
- STRZELIŃSKI P., 2006. *Zastosowanie zdjęć hemisferycznych w badaniach ekosystemów leśnych*. *Roczniki Geomatyki*, T. IV, z. 4, s. 103-112.
- STRZELIŃSKI P., SUŁKOWSKI S., 2014. *Terrestrisches Laserscanning*. [In:] Schröder J., (ed.). *Biomasseschätzung für Wälder mittels Fernerkundung und Modellierung*. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe, Band 56, s. 15-35.
- STRZELIŃSKI P., WENCEL A., CHIRREK M., ZAWIŁA-NIEDŹWIECKI T., 2007a. *Wykorzystanie technologii naziemnego skaningu laserowego w inwentaryzacji lasu*. *Roczniki Geomatyki*, T. V, z. 5, s. 19-24.
- STRZELIŃSKI P., WENCEL A., ZAWIŁA-NIEDŹWIECKI T., ZASADA M., JAGODZIŃSKI M., CHIRREK M., 2007b. *Wybrane zdalne metody szacowania biomasy roślinnej w ekosystemach leśnych jako podstawa systemu raportowania bilansu węgla*. *Roczniki Geomatyki*, T. V, z. 4, s. 7-16.
- STRZELIŃSKI P., ZAWIŁA-NIEDŹWIECKI T., SUŁKOWSKI S., KONDRACKI K., WĘGIEL A., 2012. *Szacowanie biomasy drzew i drzewostanów metodami teledetekcyjnymi*. [W:] Kannenberg K., Szramka H. (Red.), *Zarządzanie ochroną przyrody w lasach*. Tom. VI. Wyd. Wyższej Szkoły Zarządzania Środowiskiem w Tucholi, Tuchola, s. 160-173.
- SZEMPLIŃSKI A., 2007. *50 lat Biura Urządzenia Lasu i Geodezji Leśnej*. [W:] *Urządzenie lasu w służbie polskiego leśnictwa*, Mat. na Konferencję Naukowo-Techniczną, Rogów, 12-13 kwietnia 2007 r., s. 92-98.
- SZYMAŃSKI P., 2014. *Kierunki zastosowania bezzałogowych statków powietrznych w leśnictwie i ochronie przyrody*. *Roczniki Geomatyki* T. XII, z. 1(63), s. 117-127.
- TOMPALSKI P., WĘŻYK P., DE KOK R., KUKAWSKI M., 2009. *Determining the number of trees using airborne laser scanning and true orthoimagery*. *Annals of Geomatics*, Vol. VII, no. 2(32), s. 133-141.
- WĘŻYK P., 2008. *Modelowanie chmury punktów ze skaningu laserowego w obszarze koron drzew*. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji* Vol. 18b, s. 685-695.
- WĘŻYK P., 2006. *Integracja technologii geoinformacyjnych w analizie uszkodzeń lasu spowodowanych przez huragan w Puszczy Piskiej*. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji* Vol. 16, s. 547-556.
- WĘŻYK P., GUZIK M., 2004. *The use of "Photogrammetry-GIS" (P-GIS) for the Analysis of the changes in Tatra mountains natural environment. A message from the Tatra*. *Geographical Information Systems and Remote Sensing in Mountain Environment Research*. Krakow, Poland; Riverside, California, USA. Jagiellonian University Press, s. 31-46.
- WĘŻYK P., de KOK R., 2005. *Automatic mapping of the dynamics of forest succession on abandoned parcels in south Poland*. Strobl et al. Eds. *Angewandte Geoinformatik 2005*. Wichman Verlag. Heidelberg.
- WĘŻYK P., MŁOST J., PIERZCHALSKI M., WÓJTOWICZ-NOWAKOWSKA A., SZWED P., 2012. *Wzmocnienie procesu klasyfikacji obiektowej wielospektralnych ortofotomap lotniczych danymi z lotniczego skanowania laserowego*. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 23, s. 467-476.
- WĘŻYK P., PYRKOSZ R., 1999. *Użytkowanie polan w Gorcach na przestrzeni lat 1954-1997 na podstawie fotogrametrycznego opracowania zdjęć lotniczych*. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 9, s. 223-232.
- WĘŻYK P., SROGA R., 2010. *Naziemny skaning laserowy w inwentaryzacji miąższości drzewostanów sosnowych*. *Roczniki Geomatyki* T. VIII, z. 7(43), s. 63-71.
- WĘŻYK P., SZOSTAK M., TOMPALSKI P., 2010a. *Opracowanie metody zautomatyzowanego określania wysokości drzewostanów na podstawie danych lotniczego skanowania laserowego oraz jej weryfikacja w Nadleśnictwie Milicz*. *Roczniki Geomatyki* T. VIII, z. 7(43), s. 73-81.
- WĘŻYK P., TOMPALSKI P., de KOK R., SZOSTAK M., KUKAWSKI M., 2010b. *Metoda szacowania liczby drzew w drzewostanie sosnowym z wykorzystaniem danych ALS oraz ortoobrazów*. *Sylvan* T. 154, z. 11, s. 773-782.
- WĘŻYK P., SZOSTAK M., TOMPALSKI P., 2012. *Określenie biomasy sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w Puszczy Niepołomickiej na podstawie przestrzennego rozkładu chmury punktów naziemnego skaningu laserowego*. *Roczniki Geomatyki* T. X, z. 5(55), s. 79-89.
- WĘŻYK P., TOMPALSKI P., SZOSTAK M., GLISTA M., PIERZCHALSKI M., 2008. *Describing the selected canopy layer parameters of the Scots pine stands using ALS data*. [In:] 8th international conference on LiDAR applications in forest assessment and inventory, SilviliLaser 2008. Sept. 17-19. 2008 – Edinburgh, UK, s. 636-645.
- WĘŻYK P., TOMPALSKI P., 2010. *Określenie parametru zagęszczenia drzew w drzewostanach sosnowych na podstawie analizy chmury punktów naziemnego skaningu laserowego*. *Roczniki Geomatyki* T. VIII, z. 7(43), s. 83-90.
- WĘŻYK P., WERTZ B., 2005. *Forest map revision using the hyperspectral scanner AISA images*. *Imaging Spectroscopy*. New Quality in Environmental Studies. Zagajewski & Sobczak (Eds), Warsaw University.
- WILCZKIEWICZ E., 1930. *Zasady zdjęć fotogrametrycznych*. Lwów (nakładem Autora).
- WILKOWSKI W., 1985. *Opracowania Instytutu Geodezji i Kartografii dla potrzeb leśnictwa*. [W:] Instytut Geodezji i Kartografii 1945-1985. Sesja naukowa z okazji 40-lecia działalności Instytutu Geodezji i Kartografii. *Biuletyn Informacyjny* T. XXX, nr 1-2, s. 49-57.
- ZAJĄCZKOWSKI S. (Red.), 2007. *50 lat Biura Urządzenia Lasu i Geodezji Leśnej w służbie polskiego leśnictwa*. Ośrodek Rozwojowo-Wdrożeniowy Lasów Państwowych w Bedoniu, Wyd. I, Warszawa.
- ZASADA M., STEREŃCZAK K., BRACH M., 2011. *Zależność między cechami koron uzyskanymi z lotniczego skanowania laserowego a pierściami drzew*. *Sylvan* T. 155, z. 11, s. 725-735.
- ZAWIŁA-NIEDŹWIECKI T., 1991. *Satelitarna teledetekcja lasu. Stan obecny, perspektywy*. [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. 121-127.
- ZAWIŁA-NIEDŹWIECKI T., 1994. *Ocena stanu lasu w ekosystemach zagrożonych z wykorzystaniem zdjęć satelitar-nych i systemu informacji przestrzennej*. Prace Instytutu Geodezji i Kartografii T. XLI, z. 90, s. 1-84.
- ZAWIŁA-NIEDŹWIECKI T., WIŚNIEWSKA E., 2004. *Ocena zasięgu gradacji owadzych na podstawie zdjęć satelitarnych*. Sylwan T. 148, z. 3, s. 40-50.
- 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., BĘDKOWSKI K., MIŚCICKI S., PLUTECKI W., 2012. *Ocena stanu zdrowotnego świerka na podstawie analizy zdjęć wielospektralnych wykonanych fotograficznymi aparatami cyfrowymi przenoszonymi przez bezałogowy 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.



**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. Adres: Uniwersytet Łódzki, Wydział Nauk Geograficznych, Instytut Geografii Miast i Turyzmu, Zakład Geoinformacji, ul. Kopcińskiego 31, 90-142 Łódź. E-mail: krzysztof.bedkowski@geo.uni.lodz.pl