

Jerzy Mozgawa
Edward Piekarski
Heronim Olenderek
Krzysztof Będkowski

FOTOGRAMETRIA I TELEDETEKCJA W LEŚNICTWIE W POLSCE*

Spółeczeństwo końca XX wieku zgłasza wobec leśnictwa wiele nowych potrzeb i oczekiwań, z których najważniejszym i fundamentalnym zarazem, jest postulat zapewnienia podstaw trwałego i zrównoważonego funkcjonowania lasów. Lasy są obecnie postrzegane już nie jako odizolowane i samoistne ekosystemy, lecz jako część większej, jednolitej całości - krajobrazu ekologicznego i kulturowego. Wymóg uwzględniania w procesach decyzyjnych leśnictwa zasad funkcjonowania lasów w krajobrazie, znalazł odzwierciedlenie w obowiązujących przepisach i jest realizowany na wszystkich szczeblach zarządzania. Podstawowym założeniem poprawności procesu decyzyjnego jest pełne rozpoznanie i analiza warunków przyrodniczych. Sprostanie tym zadaniom, przy zastosowaniu tradycyjnie stosowanych w leśnictwie naziemnych metod pozyskiwania i korzystania z danych przestrzennych, wydaje się niemożliwe do zrealizowania.

Nauka o istocie, charakterze i funkcjach geoinformacji, czyli informacji o przestrzennie zlokalizowanych obiektach, jak też i sposobach oraz środkach technicznych zbierania, przechowywania i udostępniania tej informacji, definiowana jest najczęściej jako geomatyka [Olenderek, 1999]. Technologie geomatyki, takie jak: systemy pozycjonowania globalnego, systemy informacji przestrzennej, numeryczny model terenu, teledetekcja i fotogrametria, geodezja i kartografia, działając zazwyczaj niezależnie na etapie pozyskiwania danych, mogą być ściśle zintegrowane poprzez cyfrową formę informacji na etapach przetwarzania i wykorzystania danych przestrzennych [Mozgawa, 2000].

Teledetekcja i fotogrametria, na których koncentrujemy uwagę w niniejszym opracowaniu, są technologiami geomatyki i zajmują się metodami pozyskania, przetwarzania i interpretowania teledetekcyjnego obrazu terenu, który można traktować jako swoistą mapę zawierającą geoinformację. W procesie pomiarów fotogrametrycznych, głównie na zdjęciach lotniczych, jako szczególnej formie obrazów teledetekcyjnych, uzyskuje się miary obiektów terenowych. Fotogrametrię merytorycznie łączy się więc ze zdjęciami lotniczymi i pomiarami wykonywanymi na tych zdjęciach.

Fotogrametryczne techniki pomiarowe stosunkowo wcześniej znalazły zastosowanie w inwentaryzacji przestrzeni leśnej. Już w 1887 r. wykonano w Niemczech pierwsze zdjęcia z balonów w celu kartowania drzewostanów. Około 1890 r. wykonano w terenie górzystym

* Referat przygotowany częściowo w ramach sponsorowanego przez Dyрекcję Generalną Lasów Państwowych tematu "Zastosowanie teledetekcji w Lasach Państwowych".

Austrii zdjęcia naziemne, które wykorzystano do rozróżniania drzewostanów oraz kreślenia map przebiegu dzikich potoków. W latach dwudziestych, wraz z rozwojem lotnictwa, fotogrametria staje się ważną techniką pozyskiwania informacji o lasach na rozległych obszarach USA, Kanady, krajów skandynawskich i ówczesnego ZSRR. Rozwijano przede wszystkim, niejako naturalne, kartograficzne zastosowania zdjęć lotniczych. Podejmowano także prace nad zastosowaniem zdjęć do pozyskiwania informacji taksacyjnych. Ze zdjęć określano wszystkie podstawowe cechy drzewostanów, w tym także podejmowano próby wnioskowania o wielkości, strukturze i zmianach zapasu drzewostanów. Wykorzystywane są zarówno bezpośrednie pomiary na zdjęciach, jak i związki funkcyjne wyprowadzane pomiędzy wynikami uzyskanymi na podstawie zdjęć oraz z pomiarów terenowych [Piekarski, Będkowski, 1991; Huss, Akca, Hildebrandt, Kenneweg, Peerenboom, Rhody, 1984].

Pomimo licznych prac oraz uzyskania często bardzo interesujących wyników, rokujących możliwości zastosowań w praktyce, techniki fotogrametryczne nie znalazły dotychczas należnego im miejsca wśród metod taksacji i inwentaryzacji drzewostanów w leśnictwie polskim. Na przeszkodzie stanęły następujące czynniki:

- mniejsza, w porównaniu do metod naziemnych, dokładność inwentaryzacji;
- brak powszechnego dostępu do specjalistycznego sprzętu fotogrametrycznego;
- ograniczenia korzystania ze zdjęć lotniczych (objęcie materiałów fotogrametrycznych klauzulą tajności);
- znaczny koszt wykonania zdjęć fotogrametrycznych.

Korzyści płynące z zastosowania zdjęć lotniczych w pracach urządzania lasu są oczywiste. Zdobyte doświadczenia jednoznacznie wskazują, że zdjęcia lotnicze z powodzeniem mogą być stosowane nie tylko do ustalania granic wyłączeń drzewostanowych, ale również do określania wybranych elementów taksacyjnych drzewostanów, stratyfikacji drzewostanów, określania ich stanu zdrowotnego, inwentaryzacji na poziomie regionalnym i krajowym. Stwierdzono zalety stosowania zdjęć lotniczych polegające na skróceniu czasu opracowań, lepszej organizacji prac terenowych taksatora i jego orientacji w terenie, obniżce kosztów, podwyższeniu jakości prac, ich obiektywności i możliwości powierzchniowego analizowania lasów.

W Polsce, na przełomie lat pięćdziesiątych i sześćdziesiątych, zdjęcia lotnicze z powodzeniem były stosowane w trakcie prac związanych z wykonywaniem definitywnego urządzania lasu, pomimo dużych trudności z dostępnością do zdjęć lotniczych (klauzula tajności) oraz korzystaniu ze zdjęć wykonywanych dla innych celów, a w związku z tym najczęściej nie spełniających warunków technicznych, wykonania zdjęć dla celów taksacji leśnej, co obniżało ich przydatność dla tych celów. Warto w tym miejscu przypomnieć, że w latach 1957-58 wykorzystano zdjęcia lotnicze przy opracowaniach około 26 tys. ha powierzchni. Pomimo tego, że opracowania przyjmowane były początkowo przez taksatorów z pewną rezerwą, już w roku 1961 opracowaniami objęto około 116 tys. ha. W latach następnych zainteresowanie stosowaniem zdjęć lotniczych w pracach urządzania lasu malało i stan ten praktycznie nie ulegał zmianie. Obecnie, kiedy dostęp do materiałów fotogrametrycznych nie jest ograniczony, a ich jakość uległa tak znacznej poprawie, metody fotogrametryczne, w połączeniu z pracami naziemnymi, stwarzają możliwość przyspieszenia i poprawy jakości prac oraz uzyskania nowych, jakościowo lepszych materiałów kartograficznych (ortofotomapa, mapa obrazowa) oraz dokonywania obiektywnej oceny zmian drzewostanów przy kolejnych rewizjach planów urządzania lasu.

Znamienną cechą przemian występujących obecnie w technologiach pozyskiwania informacji o Ziemi jest pojawienie się nowych, tanich i alternatywnych, do dotychczas stosowanych, rozwiązań w systemach rejestracji i przetwarzania danych. Od kilkunastu lat, dzięki powstaniu systemów informacji geograficznej (przestrzennej), rozwijane są nowe metody analizy i prezentacji informacji. W stosowanych technologiach brakowało jednak wygodnych w użyciu i tanich zarazem rozwiązań służących do przenoszenia, do systemów informacji przestrzennej, informacji pozyskiwanych w procesie interpretacji i pomiarów fotogrametrycznych obrazów lotniczych. Wypełnienie tej luki stało się możliwe wraz z rozwojem fotogrametrii cyfrowej, a dokładniej - w momencie opracowania i wdrożenia tzw. cyfrowych stacji fotogrametrycznych.

Zdjęcia lotnicze stanowią techniczną podstawę współczesnego urządzania lasu. W taksacji leśnej wykorzystywane są one do ustalania granic wyłączeń taksacyjnych (konturowe odczytanie treści zdjęć lotniczych) i innych szczegółów sytuacyjnych stanowiących treść mapy gospodarczej, ułatwiają orientację taksatora w terenie, skracając tym samym czas pracy terenowej, prawie całkowicie eliminują pomiar naziemny wyłączeń taksacyjnych, pozwalają na wychwycenie i usunięcie błędów materiałów kartograficznych poprzedniego urządzania lasu, służą do ustalania niektórych elementów taksacyjnych i sporządzania opisów taksacyjnych, korzystnie wpływają na jakość prac urzędniowych. Na zdjęciach lotniczych bardzo dobrze są widoczne luki, gniazda, kępy, użytki ekologiczne, które mogą być z dużą dokładnością odczytane na zdjęciu a następnie przeniesione na mapę. Łatwo określić drzewostany negatywne, uszkodzone przez grzyby, po pożarach i inwazji szkodliwych owadów, a także szybko sprawdzić układ drzewostanów, z punktu widzenia kierunku cięć i ich wzajemnej ochrony przed wpływami zewnętrznymi. Kameralne i polowe prace z wykorzystaniem zdjęć lotniczych przy inwentaryzacji lasu powinny stanowić jeden uzupełniający się wzajemnie proces technologiczny. Zdjęcia lotnicze, wykorzystane w taksacji leśnej, powinny być przekazane do nadleśnictwa w formie integralnej części operatu urządzania lasu i wykorzystywane przez administrację leśną w bieżącym zarządzaniu gospodarstwem leśnym.

Dla celów taksacji leśnej najbardziej przydatne są wykonane w odpowiednim terminie zdjęcia na filmie spektrostrefowym. Liczba elementów ułatwiających fotointerpretację zwiększa się w porównaniu ze zdjęciami panchromatycznymi 2-3-krotnie. Ustalone na podstawie zdjęć spektrostrefowych wyłączenia taksacyjne charakteryzują się większą jednorodnością. Liczba wyłączeń odczytanych na zdjęciach spektrostrefowych wymagających rozpoznania w terenie lub uściślenia przebiegu granic jest niewielka.

Przy kolejnej rewizji planu urządzania lasu, wykonane w przeszłości zdjęcia w połączeniu ze zdjęciami aktualnymi i bezpośrednimi obserwacjami terenowymi, znacznie upraszczają aktualizację sytuacji wewnętrznej i dokonanie oceny gospodarki w minionym okresie. Jeżeli poprzednie urządzenie wykonano z wykorzystaniem zdjęć lotniczych, to nanosi się tylko zmiany (bez sprawdzania granic wyłączeń, które nie uległy zmianie). W przypadku, gdy poprzednie urządzenie wykonano bez zdjęć lotniczych, należy sprawdzić prawidłowość wyznaczenie wszystkich granic wyłączeń taksacyjnych.

Wydaje się, że powinno stać się regułą wykorzystanie zdjęć lotniczych dla celów trzeciej rewizji urządzania lasu w tych nadleśnictwach, dla których planuje się wykonanie mapy numerycznej. W innych przypadkach powinno dokonać się analizy wielkości zmian, jakie dokonały się w okresie od poprzedniego urządzania lasu i w przypadku, jeżeli zmiany sytuacji wewnętrznej przekraczają 20 %, uznać za celowe i uzasadnione ekonomicznie wykonanie zdjęć lotniczych.

Przeciwnicy stosowania materiałów i metod fotogrametrycznych w pracach urządzania lasu, jako główny argument wysuwają wysokie koszty wykonania zdjęć lotniczych i materiałów pochodnych niezbędnych do prac kameralnych i polowych. Koszt jednostkowy (odfotografowanie na zdjęciu 1 ha terenu pokrytego lasem) nalotu fotogrametrycznego jest uzależniony od wielu czynników. Główne to: zawartość kompleksów leśnych, odległość od lotniska i skala zdjęć lotniczych. Wykonanie lotniczych zdjęć spektrostrefowych, najbardziej przydatnych dla celów urządzania lasu, (skala 1:8000 – 1:10000) i podstawowych materiałów pochodnych dla zwartych kompleksów leśnych, kształtuje się na poziomie około 2 zł za 1 ha.

Prawa gospodarki rynkowej umożliwiły funkcjonowanie firm fotogrametrycznych, które w ofercie handlowej zawarły możliwość wykonywania dowolnych rodzajów zdjęć lotniczych (w tym spektrostrefowych i w barwach naturalnych).

W obszarze pozyskiwania danych na drodze fotogrametrycznej zwrócić uwagę należy na cyfrowe stacje fotogrametryczne, w rodzaju np. systemu VSD. System VSD jest oprogramowaniem krajowym, które umożliwia stereoskopową obserwację (za pomocą klasycznych stereoskopów) obrazów cyfrowych na ekranie monitora komputerowego. Możliwe jest wykonywanie opracowań graficznych i ich edycja w przestrzeni trójwymiarowej, zgodnej z przyjętym układem współrzędnych terenowych. Wyniki pomiarów, przeniesione do systemów informacji przestrzennej, stanowią podstawę do budowy map numerycznych. Z systemu może korzystać praktycznie każdy użytkownik, który posiada dostęp do zdjęć lotniczych, skanera, standardowego komputera oraz odpowiednio adaptowanego stereoskopu. Funkcjonalność tego systemu lokuje go w miejscu urządzeń stosowanych do opracowywania konturowego - od struktur przestrzennych w oddziałach leśnych, po elementy krajobrazu ekologicznego [Będkowski, 1994].

Ocenę przydatności VSD do pozyskiwania danych służących do sporządzania opracowań kartograficznych w leśnictwie przeprowadzono m.in. na poligonach doświadczalnych Katedry Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej w Nadleśnictwie Brzeziny - uroczyska Gałkówek i Zielona Góra, a także na terenie uroczyska Głuchów w Leśnym Zakładzie Doświadczalnym SGGW w Rogowie. Analizowano możliwość wykorzystania VSD w inwentaryzacji stałych powierzchni próbnych na terenie uroczysk Zimna Woda i Wilczy Dół w LZD Rogów. Uzyskane wyniki w pełni uzasadniły m. in. podjęcie decyzji o zastosowaniu VSD do pozyskiwania danych służących do aktualizacji mapy gospodarczej dla Leśnego Zakładu Doświadczalnego SGGW w Rogowie, w trakcie kolejnego cyklu prac urzędniowych, w latach 1999-2000. W dalszej kolejności postanowiono sprawdzić możliwości wykorzystania VSD do pomiarów na zdjęciach niektórych cech taksacyjnych drzewostanów, jak na przykład: wysokość drzew, średnice koron, zagęszczenie drzew (poprzez pomiar odległości między drzewami) itp.

Teledetekcja jest jedyną technologią geomatyki, za pomocą której można rozwiązać problem dostarczenia pożądaných informacji przestrzennych, o pełnym pokryciu terenowym, przydatnych dla potrzeb leśnictwa. Decydują o tym przede wszystkim:

- dostępność teledetekcyjnej informacji obrazowej, wciąż zwiększana poprzez usługi sieci komputerowej Internet;
- szybkość obrazowania dużych obszarów i aktualność danych;
- różnorodność obrazów teledetekcyjnych oraz zróżnicowana ich szczegółowość;
- cyfrowa postać danych, umożliwiającą integrację obrazów z pozostałymi technologiami geomatyki.

Polska należy niestety do tych nielicznych krajów, w których w ostatnim ćwierćwieczu teledetekcyjna informacja obrazowa praktycznie nie była wykorzystywana w leśnictwie na skalę gospodarczą. Współczesne leśnictwo może jednak wiele zyskać poprzez zaakceptowanie fotogrametrii i teledetekcji, jako narzędzi pomocniczych w inwentaryzacji, analizach i kartografii obszarów leśnych. Sprzyja temu niebawomy rozwój technik i technologii geomatycznych. Śmiało można stwierdzić, że znajdujemy się obecnie w zupełnie innej technologicznie epoce. Jej cechą szczególną jest także m. in. tworzenie struktur ponadnarodowych, szeroka wymiana geoinformacji i dążenie do wprowadzenia powszechnych standardów inwentaryzacyjnych. Zaniechanie stosowania w leśnictwie tej technologii geomatycznej, nieuchronnie doprowadzi w dalszej perspektywie do zerwania kontaktu merytorycznego z instytucjami międzynarodowymi, tworzącymi paneuropejskie systemy informacji o lasach na podstawie danych teledetekcyjnych, oraz, co wydaje się być znacznie poważniejszym, uniemożliwi skuteczne zasilanie systemów informacji przestrzennej - powszechnie już zaakceptowanego narzędzia wspomagania decyzji gospodarczych o charakterze przestrzennym.

Uznanie teledetekcyjnej informacji obrazowej za materiał dokumentacyjny niezbędny w leśnictwie wielofunkcyjnym, który mógłby stanowić z założenia integralną część sporządzanych planów średniookresowych, ma kluczowe znaczenie dla przyszłości wykorzystania teledetekcji i fotogrametrii w leśnictwie krajowym. Postawy prawne oraz potencjalne kierunki wykorzystania teledetekcyjnej informacji obrazowej w leśnictwie są zawarte w postanowieniach prawnych różnej rangi. Krajowe prawodawstwo, w tym przede wszystkim "Ustawa o lasach", "Polityka ekologiczna państwa", "Polityka ekologiczna państwa", Zarządzenia Dyrektora Generalnego Lasów Państwowych, precyzują obraz wielofunkcyjnej, trwale zrównoważonej gospodarki leśnej, która wymaga doskonałej znajomości struktur przestrzennych zarządzanego obiektu.

Na podstawie analizy krajowych i międzynarodowych aktów prawnych można przyjąć różnorodne podstawy grupowania potencjalnych zastosowań teledetekcyjnej informacji obrazowej. Mogą to być np. kryteria podziału uwzględniające:

- funkcje, jaką może spełniać informacja teledetekcyjna;
- hierarchię krajobrazowych struktur przestrzennych;
- sposoby oddziaływania na układy przyrodniczo-gospodarcze.

Wśród najważniejszych funkcji, jakie może spełnić informacja teledetekcyjna, należy wymienić:

- inwentaryzacyjne i dokumentacyjne - struktur przyrodniczych i antropogennych dla potrzeb planowania średniookresowego w nadleśnictwach, parkach narodowych, parkach krajobrazowych, gminach itp.);
- edukacyjne, negocjacyjne i promocyjne;
- kontrolne na rzecz realizacji prawidłowej gospodarki leśnej i ochrony przyrody.

Za potencjalne pola zastosowań teledetekcji możemy uważać jej wykorzystanie w zarządzaniu i badaniach naukowych. Ta problematyka wykracza jednakże poza ramy niniejszego opracowania.

Postęp w technikach przetwarzania obrazów cyfrowych stwarza szansę prowadzenia analiz retrospektywnych, o zakresie tematycznym trudnym dziś nawet do prognozowania. Dysponowanie cyklicznie gromadzonymi danymi teledetekcyjnymi, dokumentującymi stan

lasu, gwarantuje prowadzenie analiz i badanie zmian, jakie zachodzą na terenach leśnych wraz z oceną zgodności trendów z aktualnymi zasadami polityki leśnej państwa.

Zróżnicowanie potrzeb co do szczegółowości danych oraz powszechnie uznawana hierarchia przestrzennych struktur środowiskowych wskazują, że kierunki potencjalnych zastosowań danych teledetekcyjnych mogą być grupowane w podanym poniżej trójstopniowym modelu danych przestrzennych. Przyjęty tu sposób klasyfikowania kierunków zastosowań teledetekcji wydaje się być uzasadniony zachodzącymi zmianami w postrzeganiu przez środowisko zawodowe obiektu gospodarki leśnej. W miejscu izolowanego sztucznie ekosystemu leśnego, niekiedy zredukowanego nawet do drzewostanu, obszar leśny zaczęto postrzegać jako jeden ze składników tworzących krajobraz ekologiczny.

Proponuje się, aby potencjalne kierunki zastosowań teledetekcji i fotogrametrii rozpatrywać na trzech poziomach:

- krajobrazowym;
- pojedynczego kompleksu leśnego, traktowanego jako element składowy krajobrazu ekologicznego;
- pojedynczego drzewostanu, jako w miarę jednorodnego elementu strukturalnego kompleksu leśnego.

Na poziomie krajobrazowym główne pola zastosowań teledetekcji i fotogrametrii, to:

- konstruowanie nowych, lub przebudowa nowych układów leśno-zadrzewieniowych;
- zlewniowe gospodarowania zasobami wody, wynikające ze struktury pokrycia zlewni;
- analiza środowiska z obszarów poza lasami, z punktu widzenia ochrony przyrody oraz presji antropogennej wywieranej na tereny leśne.

Dla poziomu kompleksu leśnego potencjalne zastosowania teledetekcyjnej informacji obrazowej, to:

- doskonalenie ładu przestrzennego i czasowego w kierunku minimalizacji szkód powodowanych przez czynniki abiotyczne;
- inwentaryzacja istniejących i konstruowanie nowych stref ekotonowych;
- ocena fragmentacji obszaru leśnego przez obiekty inżynierskiego zagospodarowania lasu, oraz ocena wpływu istniejących oraz projektowanych obiektów inżynierskiego zagospodarowania, na funkcjonowanie przyrody obszarów leśnych;
- lokalizacja terenów osuwiskowych;
- analizy zmian struktury przestrzennej kompleksu leśnego za pomocą widzenia zmian różnorodności przestrzennej kompleksu leśnego (to co jest drukowane).

Poziom drzewostanowy w zastosowaniach fotogrametrii i teledetekcji, to między innymi:

- wyznaczanie granic wyłączeń drzewostanowych i sporządzanie opisów taksacyjnych;
- inwentaryzacja uszkodzeń;
- dokumentowanie stanu i zmian struktur wewnątrz drzewostanów;
- planowanie operacji technologicznych, w oparciu o trójwymiarowe modele drzewostanu, otrzymywane na drodze teledetekcyjnej.

Specyfika teledetekcyjnej informacji obrazowej, przede wszystkim zaś ogólna dostępność tych danych, kieruje uwagę na potencjalne możliwości wykorzystania obrazów

teledetekcyjnych w funkcjach kontrolnych. Mamy tu na myśli zarówno kontrolę wbudowaną w mechanizmy instytucji zarządzających zasobami leśnymi, a działających w oparciu o krajowe akty prawne, jak i wielce prawdopodobną kontrolę prowadzoną przez instytucje międzynarodowe, czuwające nad realizacją zasad gospodarowania przestrzenią przyrodniczą zgodnie z przyjętymi przez Polskę konwencjami międzynarodowymi (np. Konwencją o ochronie bioróżnorodności).

Informacje ze zdjęć lotniczych uzyskujemy w procesie fotointerpretacji. Jest to złożony proces psychologiczno-fizjologiczny, w którym dużą rolę odgrywa posiadana przez fotointerpretatora wiedza z dziedziny, na użytek której prowadzona jest fotointerpretacja. Dlatego tak trudne jest wprowadzenie do tego procesu pełnej automatyzacji. Fotointerpretację dla potrzeb zarządzania lasu może z powodzeniem wykonać tylko leśnik posiadający podstawowe wiadomości z fotogrametrii.

Konieczność negocjacji, w procesie uspołecznionego zarządzania lasami, jest nowym elementem współczesnego leśnictwa. Obowiązek konsultacji społecznych dotyczy przede wszystkim planów urzędniowych dla nadleśnictw i planów urzędniowych w parkach narodowych. pożądanym efektem psychologicznym w negocjacjach będzie łatwiejsze do uzyskania, jeśli argumentację proponowanych rozwiązań wsparta będzie mapami obrazowymi i modelami trójwymiarowymi - produktami pochodnymi danych teledetekcyjnych. Kapitalne znaczenie będzie miał również udział środowiska zawodowego leśników w negocjacjach z zakresu planowania przestrzennego, w którym konieczna będzie skuteczna ochrona koncepcji planistycznych gwarantujących zachowanie zasady ekorozwoju. W tego typu negocjacjach możliwość wykorzystania danych teledetekcyjnych nie wymaga uzasadnienia.

Polityka leśna państwa uznaje edukację przyrodniczo-leśną za ważne narzędzie podnoszenia poziomu świadomości ekologicznej społeczeństwa. Pojawienie się treści leśnych w programach nauczania szkół na wszystkich poziomach kształcenia i wzrost ilościowy różnych form edukacji nieformalnej stwarza zapotrzebowanie na atrakcyjne i skuteczne formy procesu edukacyjnego. Teledetekcja zintegrowana z innymi technologiami geomatyki, dysponuje zupełnie niewykorzystanymi dotychczas możliwościami prezentowania informacji o lasach, że wymienimy tylko posługiwanie się typowym obrazem "z lotu ptaka" i perspektywicznymi modelami trójwymiarowymi.

Mimo dynamicznego rozwoju satelitarnych technik teledetekcji, uzyskane tą drogą informacje o lasach, mają ograniczoną przydatność na poziomie drzewostanowym i dopiero wykorzystanie do tych celów zdjęć lotniczych umożliwi uzyskanie z powodzeniem wielu wskaźników charakteryzujących drzewostany.

Należy wreszcie wspomnieć o możliwości uzyskania obrazów teledetekcyjnych "sposobem gospodarczym", poprzez wykorzystanie np. systemów wideo montowanych na czarterowanych przez Lasy Państwowe samolotach ochrony przeciwpożarowej.

Produkty przetworzeń materiałów teledetekcyjnych dla potrzeb leśnictwa, można podzielić w zasadzie na trzy grupy:

1. Produkty przetworzeń obrazów systemach cyfrowego przetwarzania.
2. Obrazy anaglifowe.
3. Mapy obrazowe.

Materiały grupy pierwszej powstają w rezultacie zespołu operacji na informacji obrazowej, takich jak: rektyfikacja geometryczna, mozaikowanie, wzmocnienia i klasyfikacje. Szczególnym rodzajem tego rodzaju przetworzeń są produkty integracji dwóch technologii

geomatyki - teledetekcji i numerycznego modelu terenu. Przetworzenia te są najbardziej poszukiwanym produktem, przygotowanym do bezpośredniej integracji z systemami informacji przestrzennej.

Anaglif - dwubarwny druk, otrzymany z takich danych teledetekcyjnych, których odwzorowanie geometryczne - umożliwia tworzenie modelu stereoskopowego. Powszechnie dostępne są środki techniczne (drukarki komputerowe), umożliwiające sporządzanie takich obrazów anaglifowych, które mogą być wykorzystywane jako modułowe map oddziałów leśnych.

Mapa obrazowa jest produktem integracji teledetekcji i systemów informacji przestrzennej [Olenderek, 2000]. Na arkuszu mapy obrazowej znajdują się zarówno dane pochodzące ze źródeł teledetekcyjnych, jak i dane z map klasycznych, wyprowadzanych z systemów informacji przestrzennych. Mapy te stanowią nową generację map leśnych, które pojawiły się z chwilą upowszechnienia dostępu do danych teledetekcyjnych i systemów informacji przestrzennych. Do tworzenia leśnych map obrazowych mogą być wykorzystane zdjęcia fotogrametryczne, obrazy satelitarne i obrazy video.

Współcześnie dostępnych jest na rynku wiele systemów służących do przetwarzania obrazowych informacji teledetekcyjnych. Regułą jest, że odpowiednie moduły programowe są instalowane także w systemach informacji przestrzennych. Również w fotogrametrii stosuje się coraz częściej obrazy cyfrowe, jako podstawowy format informacji przetwarzanych za pomocą cyfrowych stacji roboczych. Spośród wielu znanych i funkcjonujących na rynku rozwiązań, leśnictwo naturalnie zwraca uwagę na te, które łączą w sobie zalety funkcjonalności i dostępności cenowej dla ich użytkownika.

Na typowy zakres funkcji systemu informacji przestrzennych i systemu przetwarzania obrazów składają się: obsługa bazy danych, modelowanie przestrzenne, poprawianie własności obrazów, klasyfikacja treści obrazów itd. Specjalną uwagę warto zwrócić na narzędzia monitoringu środowiska i zarządzania zasobami naturalnymi - analiza zmian, analiza szeregów czasowych, wielokryterialne i wielokierunkowe wspieranie podejmowania decyzji, analiza dokładności (w tym z wykorzystaniem zbiorów rozmytych), modelowanie symulacyjne, interpolacja powierzchni oraz analizy statystyczne itp.

Podsumowanie

Obserwujemy systematyczne obniżanie kosztu danych obrazowych i upraszczanie dostępu do nich poprzez sieci komputerowe. Dane teledetekcyjne można wykorzystywać bez konieczności oczekiwania na praktyczne wdrożenie innych technologii informacji przestrzennych. Warunkiem jest tu jedynie dysponowanie środkami technicznymi do przetwarzania obrazów cyfrowych oraz merytorycznie przygotowanym personelem (interpretatorzy). Jak wykazano we wcześniejszych rozdziałach, dostęp do właściwych środków technicznych nie jest problemem, który ograniczałby wykorzystanie informacji teledetekcyjnych w leśnictwie.

W planie urządzania lasu i udostępniania przyrodniczych walorów nadleśnictwa należy obligatoryjnie wprowadzić uzupełnienie części kartograficznej o mapy obrazowe, obejmujące terytorialny zasięg działania nadleśnictwa. Tłem obszarów znajdujących się poza granicami Lasów Państwowych, mogłyby być na tych mapach, wysokorozdzielcze obrazy z systemów satelitarnych. Na mapach obrazowych obszaru terytorialnego zasięgu nadleśnictw powinny być umieszczane, wyprowadzone z budowanego w Lasach Państwowych systemu, informacje

wektorowe. Zgodnie ze standardem leśnej mapy numerycznej, informacje wektorowe mogą dotyczyć także niektórych obiektów znajdujących się poza lasami.

Panujące u nas warunki klimatyczne pozwalają na uzyskiwanie pełnego pokrycia terytorium kraju satelitarnymi danymi obrazowymi przy częstotliwości 1-2 lat. Stwarza to realne podstawy do korzystania z techniki teledetekcyjnej w powołanej wcześniej funkcji kontrolnej.

Stopień szczegółowości informacji obrazowych może być bardzo zmienny i sięgać od struktur wewnątrz drzewostanów do krajobrazowych. Te dwa skrajne poziomy szczegółowości są dla tradycyjnych, nieteledetekcyjnych metod inwentaryzacji bezpośredniej, praktycznie niedostępne. Duży zakres zmienności może być w technikach teledetekcji uzyskany poprzez odpowiednie dostosowanie do potrzeb rozdzielczości systemu pozyskiwania danych lub numeryczne przetwarzanie wysokorozdzielczych informacji obrazowych.

Literatura

1. Będkowski K., 1994, *Video-Stereo-Digitizer i możliwości jego zastosowania w przetwarzaniu treści obrazów obszarów leśnych*, Las Polski 4: 16-17.
2. Huss J., Akca A., Hildebrandt G., Kenneweg H., Peerenboom H.- G., Rhody B., 1984, *Luftbildmessung und Fernerkundung in der Forstwirtschaft*, Herbert Wichmann Verlag, Karlsruhe.).
3. Mozgawa J., 2000, *Geomatyka w służbie użytkowania lasu u progu XXI wieku. Materiały Sympozjum "Stan i perspektywy badań w zakresie użytkowania lasu"*, IBL Warszawa, w druku.
4. Olenderek H., 1999, *Od miernictwa do geomatyki, czyli 80 lat usług geodezyjnych dla urządzania lasu. "90 lat Zakładu Urządzania Lasu SGGW"*, Wyd. Fundacja "Rozwój SGGW", Warszawa: 55-63.
5. Olenderek T., 2000, *Ocena leśnych map obrazowych*, Maszynopis rozprawy doktorskiej, Wydział Leśny SGGW w Warszawie.
6. 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*, 105-118, Wydawnictwo SGGW-AR, Warszawa

Recenzowała: dr inż. Regina Tokarczyk