

Piotr Węzyk  
Reinfried Mansberger

## TECHNIKI FOTOGAMETRII CYFROWEJ I GIS W OCENIE DEGRADACJI DRZEWOSTANÓW ŚWIERKOWYCH W MASYWIE KUDŁONIA W GORCACH

### 1. Wprowadzenie

Praktyczne zastosowania zdjęć lotniczych w gospodarce leśnej i ochronie przyrody znane są już od wielu lat, lecz jak dotąd w warunkach naszego kraju poza kilkoma próbami, nie doczekaliśmy się jej powszechnego wykorzystania [Bychawski W., 1980; Hildebrandt, G., 1992; Koehl M., Oester B., 1994; Mycke-Dominko M., 1997; Armenakis C., Regan A., 1996; Węgrzyn Z. 1995, Węzyk P., Mansberger R., 1997, Węzyk P., 1997].

Fotogrametria cyfrowa jest zbiorem technik służących do opracowania geometrycznych, radiometrycznych i semantycznych informacji obiektów trójwymiarowych (3D) na podstawie dwuwymiarowych (2D) cyfrowych zdjęć tych obiektów [Heipke, 1993].

GIS to zorganizowany system mocnych narzędzi, składający się z komputera, oprogramowania, danych i operatora, zaprojektowany w celu efektywnego zbierania, gromadzenia, przechowywania, przetwarzania, transformacji, analizowania, i wyświetlania danych przestrzennych świata realnego to [Burrough P.A., 1986; Urbański J., 1997].

Instrukcja urządzania gospodarstwa leśnego obowiązująca także na terenach prawnie chronionych (Parki Narodowe), przewiduje aktualizację materiału kartograficznego (map gospodarczych) oraz opisowego (operat - atrybuty jednostek podziału powierzchniowego i zalecenia gospodarcze) raz na 10 lat. Przez cały ten okres służby leśne mają do dyspozycji materiał kartograficzny, który w niektórych przypadkach ulega bardzo szybkiej dezaktualizacji (tereny klęskowe - np. gradacji owadów czy pożarów leśnych, wykonywanie zabiegów gospodarczych - rębni i zalesień, zmiany klas wieku drzewostanów itp.). Nowoczesne techniki fotogrametrii cyfrowej oraz Systemy Informacji Geograficznej mogą przez szybkie dostarczenie aktualnych informacji i jednoczesnego wykorzystanie już istniejących, takim sytuacjom zaradzić.

### 2. Metoda

W celu przeprowadzenia inwentaryzacji wylesień i oceny degradacji siedlisk leśnych na stokach masywu Kudłonia w Gorcach, oraz dokonania odpowiednich korekt istniejących map leśnych, wykorzystano techniki: fotogrametrii cyfrowej oraz systemu GIS i GPS.

Dla potrzeb realizacji projektu badawczego wygenerowano ortofotografię cyfrową z barwnych zdjęć spektrostrefowych (Color InfraRed - CIR) oraz cyfrowy model terenu

(CMT), a także leśną numeryczną mapę gospodarczą. Odbiornikami GPS posługiwano się w celu pozyskania współrzędnych punktów nawiązania.

Ortofotografia cyfrowa wygenerowana została w Instytucie Geodezji, Teledetekcji i Systemów Informacji o Terenie (IVFL - BOKU) w Wiedniu na stacji ImageStation (Intergraph), natomiast cyfrowy model terenu i mapa gospodarcza obszaru badań przy użyciu oprogramowania ARC/INFO (ESRI) Unix w Katedrze Ekologii Lasu Akademii Rolniczej w Krakowie. Pomiary DGPS przeprowadzono przy użyciu dwóch odbiorników Cornvalis Microtechnology - PCL5 9400 oraz MC-GPS. Ponadto wykorzystano autograf cyfrowy VSD (AGH) w celu dokonania korekt niektórych obiektów liniowych oraz próby fotointerpretacji uszkodzeń koron drzew.

### 3. Teren badań

Obszarem badań objęto południowe zbocza masywu górskiego Kudłonia (1273 m n.p.m.) położonego w centralnej części Gorców. Badane drzewostany świerkowe, prawdopodobnie sztucznego pochodzenia leżą na terenie Gorczańskiego Parku Narodowego (G.P.N.) i jeszcze przed jego utworzeniem (1981) pewne ich fragmenty objęte były ochroną rezerwatową ścisłą bądź częściową. Na przełomie lat 70-siątych i 80-siątych nastąpiła na tym obszarze masowa gradacja szkodników owadzych w postaci zasnui wysokogórskiej (*Cephalcia falleni* Dalm.) i kornika drukarza (*Ips typographus* L.), która doprowadziła do uszkodzenia oraz śmierci drzewostanów świerkowych, a następnie w wyniku cięć sanitarnych ich usunięcia [Honowski J., Huflejt T., 1988; Capecki 1982]. Utrzymująca się przez wiele lat gradacja zasnui wysokogórskiej (1979-1983) oraz do dziś występujący licznie na ścianach odsłoniętego drzewostanu - kornik drukarz (*Ips typographus* L.), spowodowały wylesienia sięgające tylko na zboczach Kudłonia, około 65 hektarów. Powierzchnię zagrożoną gradacją zasnui wysokogórskiej, w roku 1980 szacowano na około 1800 ha [Loch J., 1991]. Obecnie teren ten wyjęty został spod ścisłej ochrony rezerwatowej i wykonywane są sztuczne zalesiania, nie przynoszące jednak oczekiwanych efektów.

### 4. Opracowanie ortofotografii cyfrowej

#### 4.1. Zdjęcia lotnicze

Ortofotografia cyfrowa powstaje w efekcie przetwarzania niewielkich fragmentów zdjęcia lotniczego do jednakowej skali przy równoczesnym usunięciu zniekształceń obrazu spowodowanych różnicą wysokości terenu i nachyleniem zdjęcia [Sittek, 1990].

W prezentowanej pracy badawczej, do wygenerowania ortofotografii wykorzystano spektrostrefowe zdjęcia lotnicze (CIR) w skali 1:9 000 z 13-stego sierpnia 1997 roku oraz cyfrowy model terenu (CMT), a także cyfrowy model powierzchni (CMP).

Jakość i ilość tematycznej informacji zawartej w ortofotografii jest zależna od jakości samego zdjęcia lotniczego, z którego jest ona generowana. Dlatego powinno się przestrzegać zasad dotyczących wyboru: filmu [Mansberger R. et al., 1991, 1996], obiektywu kamery lotniczej, momentu ekspozycji zdjęć (pora roku i dnia) oraz skali samego zdjęcia [Wężyk P., Mansberger R., 1997].

Kierując się tymi zasadami oraz mając na uwadze wykorzystanie zdjęć barwnych spektrostrefowych dla innych celów jak np. oceny stanu zdrowotnego drzew, a także rachunek ekonomiczny, zleciodawca nalotu fotogrametrycznego tj. G.P.N., ustalił średnią skalę zdjęć na 1: 9000.

Zdjęcia wykonano na filmie Kodak Aerochrome 2443 czułym na promieniowanie widzialne i bliską podczerwień. Nadaje się on bardzo dobrze do rejestracji uszkodzeń drzewostanów, a także rejestracji różnic odbicia promieniowania przez poszczególne zbiorowiska roślinne na terenie otwartym (np. polanach, zrębach, wylesieniach itp.)

Wykonawca nalotu (PPGiK) posłużył się kamerą WILD 21 NAG II o ogniskowej 213,75 mm. Nalot z użyciem materiału Kodak Aerochrome 2443, powinien być wykonywany w szczycie sezonu wegetacyjnego tj. kiedy wszystkie gatunki drzew posiadają w pełni wykształcony aparat asymilacyjny i nie zaczynają się jeszcze przebarwiać [Węzyk P., 1997].

Ze względu na bardzo złe warunki pogodowe w lipcu 1997 roku, zaplanowany na początek lipca nalot nie mógł się odbyć. Termin dobrano kierując się rozwojem poszczególnych gatunków drzew w piętrze roślinnym na wysokości 1100-1200 metrów. Dopiero w połowie lipca w normalnych warunkach klimatycznych następuje całkowity rozwój nowych roczników igieł i pędów u świerka w wyższych położeniach górskich.

Nalotu fotogrametrycznego dokonano dopiero 13 sierpnia 1997 tj. praktycznie pierwszego dnia tzw. "lotnej pogody". Wykonawca obawiał się, że moment taki więcej się nie powtórzy i zdecydował się na niezbyt do tego celu odpowiednią porę dnia. Ekspozycja zdjęć nastąpiła w godzinach popołudniowych co w terenie górskim i w przypadku rzeźby terenu Gorców miało swoje negatywne następstwa. Stoki o ekspozycji wschodniej i północnej znajdowały się już częściowo w cieniu grzbietów, przez co fotointerpretacja drzewostanów w pewnych rejonach jest bardzo ograniczona bądź wręcz niemożliwa do przeprowadzenia. Stoki o ekspozycji S do W są dobrze oświetlone, lecz słońce znajdowało się już dosyć nisko nad horyzontem i w związku z tym jego promienie padały pod ostrym kątem na pnie i części podkoronowe drzew, zamiast od góry oświetlać wierzchołki koron. Efektem tego jest rejestracja dużego odbicia promieniowania podczerwonego od kory i uschniętych gałęzi świerków stojących na otwartej przestrzeni, na stokach o ekspozycjach S do W. Stwarza to wrażenie, iż w większości drzewa te są martwe. W rzeczywistości, w momencie wykonywania klucza fotointerpretacyjnego w terenie, okazało się, iż częściowo były to zamierające lecz wciąż żywe świerki. Ten sam negatywny cień okazał się jednak w tym momencie pomocny w celu wykluczenia błędów fotointerpretacji. Na tle roślinności zrębu (głównie łany borówki *Vaccinium myrtillus* L. i łanów trzcinnika *Calamagrostis* sp.) widać wyraźnie przy niektórych świerkach cień przedstawiający strukturę koron z występującym jeszcze aparatem asymilacyjnym. Inne, martwe drzewa, rzucają tylko cień pni i gałęzi głównych pozbawionych drobnych gałązek i igieł.

#### 4.2. Cyfrowy Model Terenu

Cyfrowy model terenu niezbędny w procesie generowania ortofotografii można uzyskać na cztery różne sposoby [Węzyk P., Mansberger R., 1997]. W przypadku opisywanego projektu, niezależnie od cyfrowego modelu powierzchni (CMP) generowanego automatycznie (ImageStation), utworzono cyfrowy model terenu na podstawie map warstwicznych. W tym celu użyto moduł TIN (Triangulated Irregular Network), część pakietu GIS tj. ARC/INFO ver. 7.1.1. (ESRI, WS DEC Alpha 255 Digital).

Digitalizacji poddano mapy geodezyjne w skali 1:10 000 (układ 1965) prezentujące obszar masywu górskiego Kudłonia (1273 m n.p.m.). Digitalizowano manualnie na stole ALTEK32 (A0) linie warstwicowe z cięciem 20 metrowym (czasem 10- i 5-cio metrowym) oraz w celu dokładniejszego procesu tworzenia poligonów Thiessena, niektóre punkty wysokościowe. Bardzo ważne w tej metodzie interpolacji okazało się wprowadzenie tzw. linii nieciągłości terenu, w tym wypadku zgodnych z przebiegiem rzek i potoków. Po odpowiednim nadaniu im atrybutów rozpoznawalnych przez program (-9999) rozpoczęto, z ich użyciem, procedurę tworzenia TIN. Uniknięto dzięki temu powstania tzw. terenów płaskich tworzących się głównie w miejscach interpolacji tej samej linii warstwicowej.

#### 4.3. Skanowanie zdjęć lotniczych

Przetworzenia diapozytywów na formę cyfrową dokonano na skanerze PS1 firmy ZEISS-INTERGRAPH. Na trzech zeskanowanych obrazach (zdjęcia nr: 4116, 4117 oraz 4118) zaobserwowano niewielkie lewostronne obcięcie promieniowania z zakresu zielonego i niebieskiego. Wielkość piksela do procesu skanowania przyjęto na poziomie 25  $\mu\text{m}$ . Obraz zapisano dla trzech kanałów spektralnych RGB łącznie, w formacie TIFF niekompresowanym jako True Colour i przyjął on wielkość około 248 MB dla jednego diapozytywu. Archiwizacji dokonano na płytach CD-ROM.

#### 4.4. Zastosowanie GPS dla celów orientacji zdjęć lotniczych

Zdjęcia orientowano na podstawie punktów nawiazania, sygnalizowanych w terenie już od początku lipca. Ich stan techniczny, pomimo deszczowej pogody, był zadawalający aż do późnej jesieni.

Oprócz punktów sygnalizowanych wybrano jeszcze kilka innych jak np. ruiny szłaśu na Gorku Troszackim bądź narożnik ogrodzenia powierzchni doświadczalnej na "Zrębie" (Masyw Kudłonia - teren wylesiony), a także na kilku polanach (niewysokie: 2-3 metrowe świerki, wyraźnie widoczne na odbitkach stykowych). Samego pomiaru dokonywano dwukrotnie, metodą różnicową DGPS. Niektóre z punktów (tylko sygnalizowane) zmierzono już w lipcu, a pozostałe po otrzymaniu pierwszych odbitek od wykonawcy.

Pomiar różnicowy DGPS umożliwia wyeliminowanie błędu wprowadzanego do depezy satelitarnej odbieranej przez odbiornik GPS-NAVSTAR. Błąd kodu S/A dochodzić może do  $\pm 100$  metrów. Posługując się dwoma odbiornikami w tym samym czasie, błąd rejestruje się na obu odbiornikach jednocześnie. Jeden z odbiorników (12 kanałowy Leica - CMT) ulokowano na punkcie z osnowy wysokościowej o znanych współrzędnych i traktowany był jako stacja bazowa. Współrzędne x,y,z (stacji bazowej) z układu "1965" przeliczono programem "GeoTrans" na WGS84. Pomiar lokalizacji punktów nawiazania odbywały się drugim odbiornikiem (MC-GPS, 6 kanałowy, 5 MB RAM, rejestrator z klawiaturą alfanumeryczną) i trwały zwykle około 45-60 minut (sesje 2700- i 3600-pomiarowe, interwał 1 sek.).

Błąd współrzędnych "X,Y" po dokonaniu korekcji różnicowej i transformacji do układu "1965" (program GeoTrans) określono poniżej 80 cm, natomiast współrzędna "Z" obarczona była zwykle błędem 1,5 -2 razy większym.

#### 4.5. Automatyczne generowanie Cyfrowego Modelu Powierzchni

Cały teren opisywanego projektu pokryty jest całkowicie przez trzy kolejne zdjęcia z szeregu nr 3, o numerach 4116, 4117 i 4118. Rozdzielczość terenowa ustalona została na 0.30 metra.

Na każdym z dwóch modeli (4116/4117 oraz 4117/4118) pomierzono (ImageStation, Intergraph) ręcznie linie nieciągłości terenu. Przy tej czynności rozróżniano: grań grzbietu masywu Kudłonia, krawędzie (lokalne maksima wysokości w Dolinie Kamienicy), linie cieków wodnych i inne. Digitalizacja odbywała się automatycznie przy użyciu odpowiedniego algorytmu identycznie jak w badaniach Wężyk, Mansberger [1997].

Automatyczne wygenerowanie cyfrowego modelu powierzchni (numerycznego modelu rzeźby terenu) odbywało się przy zastosowaniu programu MATCH-T firmy INPHO, Stuttgart, w trzech etapach. Komputer potrzebował około 52 minut na wygenerowanie siatki punktów o boku 10x10m. Do procedury TIN wzięto pod uwagę tylko część z ponad 1 mln pomierzonych metodą autokorelacji punktów (po przefiltrowaniu około 50.000 punktów dla każdego modelu; w momencie interpolacji oczka siatki 10 x 10 m. brane pod uwagę były 32 punkty).

Generowanie ortofotografii odbywało się przez przekształcanie elementów zdjęcia obejmujących grupy pikseli o wymiarze 8 x 8 z wykorzystaniem interpolacji biliniowej. Ta metoda umożliwia znaczne przyspieszenie procesu przekształcania zdjęć bez starty ich dokładności. Obrazy cząstkowe ortofotografii zostały dopasowane do siebie przy użyciu odpowiednich metod przetwarzania obrazu i połączone w jedną mozaikę (Program ImageStation Imager [ISI-3] Intergraph) [Wężyk, Mansberger R., 1997].

W efekcie powyżej opisanych prac powstały dwie ortofotografie wygenerowane po kolei z udziałem CMT oraz CMP.

W celu sprawdzenia różnic pomiędzy tymi ortofotografiami, użyto polecenia FLICKER. W interwale co 0,4 sek. wyświetlane były na przemian na ekranie monitora obydwa obrazy. Wrażenie "pływania" obszaru obserwowano w miejscach przy granicy wylesienia. Na obszarze pokrytym przez jednowiekowy drzewostan świerkowy, pomimo różnic pomiędzy CMT a CMP, oko obserwatora nie wychwytywało takiego ruchu, co powodowane było podobną teksturą obrazu.

#### 5. Integracja ortofotografii z systemem GIS

W celu dokonania korekty przebiegu granicy obiektów LAS i NIE\_LAS oraz określenia stref degradacji drzewostanów świerkowych, digitalizowano ortofotografie cyfrową na ekranie komputera. Wcześniej zintegrowano ją z systemem GIS ARC/INFO (ESRI) Unix ver. 7.x.

Po stworzeniu pliku konfiguracyjnego (Haeder), ortofotografię wczytano jako obraz rastrowy do pustej warstwy edycyjnej. Można więc było wykorzystać ją jako tło (backcoverage), a zarazem źródło informacji i rozpocząć proces pozyskiwania informacji poprzez digitalizację. W celu lepszej orientacji w terenie, jako drugą warstwę w tle, wyświetlono fragment sporządzonej wcześniej leśnej numerycznej mapy gospodarczej. Poza liniami podziału powierzchniowego (linie oddziałowe i wydzieleń), które nie zawsze były

możliwe do fotointerpretacji (sztucznie projektowane linie, nie pokrywające się z przebiegiem form terenowych i obiektów o charakterze liniowym), na obrazie ortofotografii wyświetlano granicę własności G.P.N. oraz warstwę "Komunikacja" (drogi i ścieżki). Te ostatnie obiekty wnoszone są na mapy leśne zwykle z dużym błędem, co potwierdziło wyświetlenie tych elementów na tle ortofotografii.

W rejonie badań występowały polany, które po usunięciu resztek drzewostanów świerkowych z ich obrzeży, połączyły się z obszarem zrębu. Nie sposób było odróżnić takich powierzchni od reszty terenu gdzie uprzętnięto już drzewostan, a nawet wykarczowano pniaki. Polany takie, podobnie jak teren samego zrębu podlega sukcesji borówki i innej roślinności zielnej.

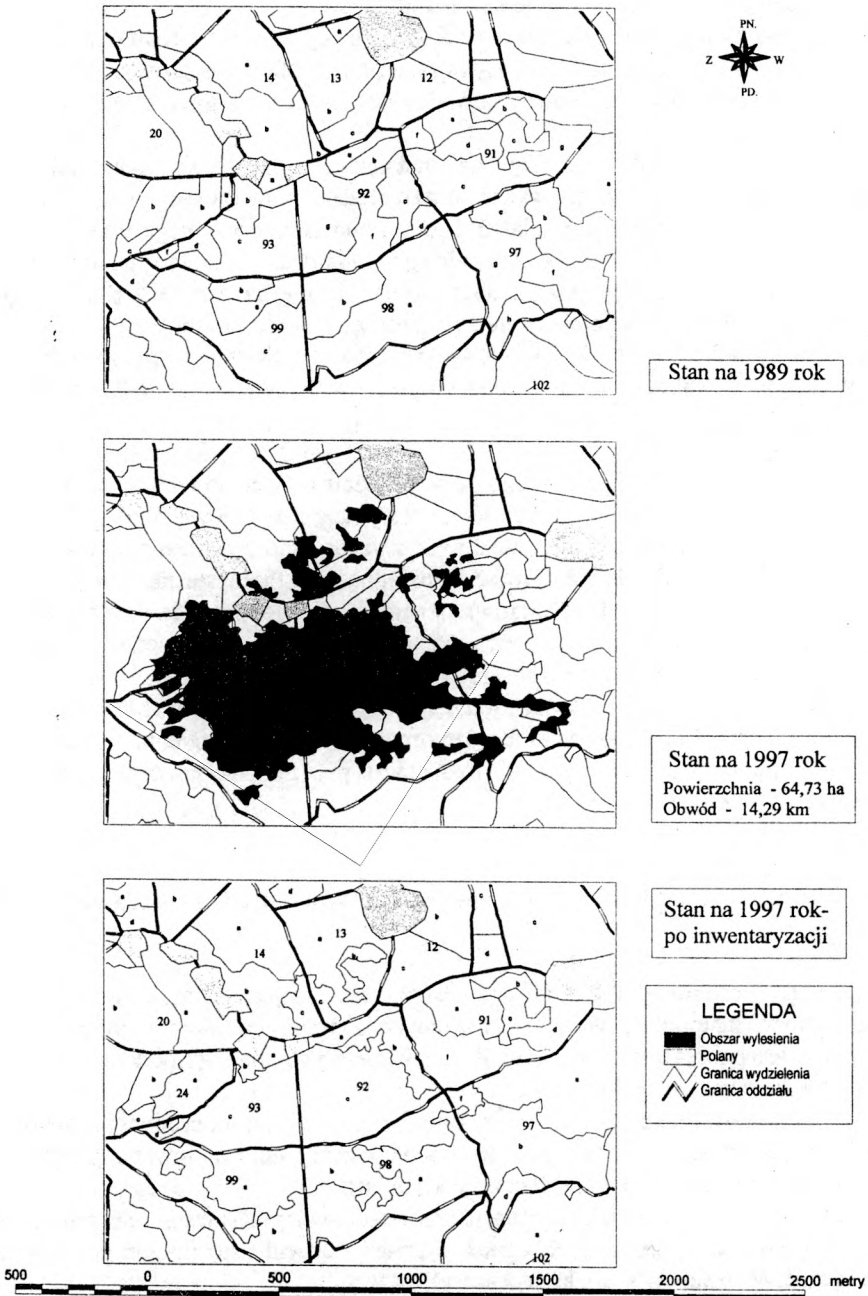
Na tym etapie prac wykorzystano informacje zgromadzone w relacyjnej bazie danych, gdzie wpisano niezbędne informacje z operatu urzędniowego G.P.N. z roku 1989. Po stworzeniu relacji pomiędzy bazą z danymi z operatu i bazą geometryczną fragmentu leśnej numerycznej mapy gospodarczej, szybko uzyskano informacje o przebiegu granicy własności polan oraz wieku, składzie gatunkowym i innych cechach taksacyjnych drzewostanów, które w większości już nie istniały lub ich struktura ulegała rozpadowi.

Digitalizacja na ekranie monitora polegała na dokonywaniu fotointerpretacji obrazu i kartowaniu powierzchni zrębu. Fotointerpretacja granicy drzewostanu świerkowego w stanie rozpadu i zamierania jest bardzo subiektywna i wymaga dużej wprawy operatora. Przyjęto zasadę generalizacji przebiegu granicy, ponieważ tempo zamierania drzew jest bardzo szybkie na tym terenie i w przyszłym roku linia martwych drzew przesunie się z pewnością o kilka metrów. O ile digitalizacja granicy zrębu odbywająca się po nasadzie pni widocznych w górnych fragmentach obrazu nie nastęrczała trudności, to niektóre jej fragmenty okazały się dość trudne. Problem dotyczy mianowicie przesunięcia współrzędnych wierzchołka drzewa na ortofotografii bazującej na automatycznie wygenerowanym CMP [Węzyk P., Mansberger R., 1997]. Ściana lasu musiała więc być digitalizowana nie po wierzchołkach drzew ale w niższych częściach korony co nie było łatwe. Dodatkowo inne korony drzew rosnące poniżej przysłaniały ten hipotetyczny przebieg.

Aby precyzyjnie pozyskać tego typu linie zadano sobie trud dodatkowego opracowania tych fragmentów przy użyciu VSD. Uzyskana dokładność orientacji modeli była porównywalna z osiągniętą na ImageStation. Wymiana danych wektorowych pomiędzy VSD a ARC/INFO odbywała się bez większych problemów poprzez format DXF. Możliwość stereoskopowej obserwacji poszczególnych koron drzew umożliwiła bardzo dokładne wyznaczenie przebiegu wylesienia. Dodatkowo podczas digitalizacji na autografie cyfrowym VSD wyświetlano w tle mapę numeryczną podziału powierzchniowego. Jej import (również poprzez format .DXF) nastęrczał już pewne trudności w przeciwieństwie do exportu.

Inną niedogodnością był brak możliwości bezpośredniego wczytania zeskanowanych zdjęć. Należało je najpierw skonwertować do 256 kolorów (8 bitów) programem rgb\_vsd. To natomiast spowodowało pewnego rodzaju generalizację kolorów i agregację pikseli, negatywnie wpływając na możliwość precyzyjnej fotointerpretacji stopnia uszkodzenia koron drzew na tym materiale zdjęciowym.

W końcu wszystkie linie zostały z sobą połączone w programie ARC/INFO UNIX i zbudowana została warstwa poligonowa dla tych obiektów. Umożliwiło to pozyskanie informacji o aktualnej powierzchni oraz obwodzie wylesienia. Te dwie wielkości mają duże znaczenie w śledzeniu zmian na tej powierzchni w ciągu ostatnich lat. Długość granicy



Rys. 1: Rewizja mapy gospodarczej obwodu ochronnego „Turbacz” w oparciu o ortofotografię cyfrową z 1997 roku

wylesienia jest niezmiernie istotna ze względu na pojawiające się na odsłoniętej ścianie lasu gradacji szkodników owadzych (głównie kornika drukarza).

Całkowita powierzchnia wylesień na stokach Kudłonia w roku 1997 obliczona w powyższy sposób wyniosła 64,73 ha. Największa powierzchnia ma dosyć regularny kształt i powierzchnię ponad 56 ha. Całkowity obwód wylesień, czyli długość ściany lasy wyniósł 14,29 km.

Dalsze analizy GIS polegały na nakładaniu na siebie kolejnych warstw informacyjnych w kierunku przeprowadzenia aktualizacji numerycznej mapy gospodarczej (stan z roku 1989). W trakcie tych działań dokonywano zmian przebiegu granic wydzieleń, przy czym niektóre z nich w ogóle zlikwidowano. Granice oddziałów pozostawiono bez zmian. Dalekim zmianom uległy też przebiegi ścieżek i dróg na terenie zrębu i w rejonach gdzie istniała możliwość ich fotointerpretacji pomiędzy koronami drzew. Z dokładnością poniżej 1 m wprowadzono nowe lub rewidowano przebiegi tych linii na mapie numerycznej. W efekcie tych prac zaplanowano nowy podział powierzchniowy w rejonie Kudłonia (obwód ochronny "Turbacz" – rys. 1).

Mapy leśne wykonuje się raz na 10 lat i w przypadku terenów gdzie występują tego typu zagrożenia, dezaktualizują się bardzo szybko. Jeżeli wylesienia tych terenów dalej będą następować w tym tempie, to za dwa- trzy lata, należy liczyć się z nową tego typu pracą.

Rozwój techniki niesie ze sobą możliwość wyznaczenia nowo zaprojektowanych linii w terenie przy użyciu GPS. Można to robić z dokładnością kilkunastu metrów (w testach na tym terenie uzyskano wynik  $\pm 17$  metrów) nawigując się do punktów bądź idąc wzdłuż żądanej marszruty. Linie taką wprowadzić można do odbiornika po uprzedniej transformacji "układ 1965"  $\Rightarrow$  "WGS84". Innym, niewątpliwie najlepszym rozwiązaniem, byłoby nawigowanie się w trybie RTCM (w czasie rzeczywistym). Odbiorniki CMT są wyposażone w opcję odbioru sygnału korekcyjnego. Bardzo drogi jest natomiast nadajnik i odbiornik tego sygnału bądź serwis odbioru poprawki różnicowej poprzez specjalne dekodery (sygnał przesyłany przez satelity komercyjne).

## 6. Ocena zastosowania cyfrowej ortofotografii i zdjęć CIR w badaniach terenów wylesień

Aktualna ortofotografia cyfrowa bądź też zdjęcie lotnicze okazują się pierwszorzędym materiałem do prac związanych z wykonywaniem planów urządzania gospodarstwa leśnego (szczególnie aktualizacji istniejących map gospodarczych), a także badaniami naukowymi, ze względu na:

- obiektywizm kartowania - może ulec zmianie metoda fotointerpretacji, ale materiał zdjęciowy pozostaje dalej ten sam (np. wielkopowierzchniowe inwentaryzacje stopnia uszkodzenia drzewostanów prowadzone co kilka lat);
- śledzenie przebiegu kierunku degradacji drzewostanów (przesuwanie się granicy drzew martwych, tworzenie się nowych ognisk gradacji, łączenie się poszczególnych gniazd martwych drzewostanów w większe obszary);
- obserwacje sukcesji formacji roślinnych, w tym odnowień naturalnych na terenie wylesionym (regeneracja naturalnych siedlisk leśnych, konkurencja zbiorowisk roślinnych);



- ocenę udatności prac zalesieniowych (w warunkach górskich otwartej przestrzeni obserwuje się niewielki procent ich udatności);
- możliwość kartowania tworzących się mikrosiedlisk wokół nagromadzonego drewna martwego, stożków odnowieniowych itp.;
- łatwość monitorowania zagrożeń ze strony erozji gleby na wylesionym, obszarze i podjęcie odpowiedniego przeciwdziałania (zabudowa potoków, unikanie zrywki mechanicznej itp.)
- możliwość integracji z numeryczną mapą gospodarczą i digitalizację na ekranie monitora lub na digityzerze (w postaci wydruku, odbitki);
- możliwość szybkiego pozyskania aktualnego materiału fotograficznego do wykonania niezbędnych korekt istniejących materiałów kartograficznych (rewizje map);
- stosunkowo krótki czas generowania ortofotografii dla terenów pokłeskowych np. kartowanie skutków gradacji szkodników owadzych bądź obszarów zagrożonych pożarami;
- malejące koszty wytworzenia ortofotografii w stosunku do kosztów terenowych prac geodezyjnych;

Także panchromatyczne zdjęcia lotnicze i wygenerowane z nich ortofotografie są wspaniałym materiałem archiwalnym umożliwiającym opracowanie dynamiki wylesień obszarów leśnych. W przypadku masywu Kudlonia dotarto już do zdjęć panchromatycznych z lat : 1954, 1974, 1987 oraz 1995. Ponadto interesującym materiałem interpretacyjnym będą na pewno ostatnio wykonywane w ramach funduszu PHARE barwne zdjęcia lotnicze. W celu uzyskania pełniejszego obrazu powstawania wylesień prawdopodobnie konieczne będzie wykorzystanie zobrażeń satelitarnych (SPOT, Landsat TM) z lat 80-siątych.

## 7. Wnioski

Integracja plików numerycznych: cyfrowej ortofotografii, leśnej numerycznej mapy gospodarczej, a także technik GPS, ma niewątpliwe zalety nie tylko na ekranie w postaci map wirtualnych czy też w formie wydruków (map rzeczywistych), ale także w samych pracach terenowych. Ortofotomapy i Cyfrowe Modele Terenu mogą otworzyć nową trójwymiarową przestrzeń dla rozwoju i działania gospodarki leśnej w tym: ochrony przyrody i badań nad sukcesją roślinną. Te nowoczesne narzędzia są pomocne na etapie projektowania, planowania, urządzania, realizacji zadań gospodarczych i badawczych, a także pomagają śledzić zachodzące w przyrodzie procesy, których jesteśmy świadkami.

Prace finansowane z Badań Własnych 2847/KEkL/97 - A.R. oraz środków KBN na współpracę naukową z zagranicą.

## Literatura:

Armenakis C., Regan A., 1996, *Map revision using digital ortophotos*, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXI, Part B4, Commission IV, ISPRS, Wien;

- Bychawski W., 1980, *Zastosowanie lotniczych zdjęć spektrostrefowych do określania stref przemysłowego zagrożenia drzewostanów sosnowych*, Prace IGIK, Nr 3 (66);
- Capecki Z., 1982, *Masowe wystąpienie zasnui wysokogórskiej (Cephalcia falleni Dalm.), Pamphillidae, Hymenoptera w Gorcach*, Sylwan 126,4: 41-50;
- Heipke Chr., 1993, *Performance and state-of-the-art of digital stereo processing*, Fritsch/Hobbie (Eds.), Photogrammetric Week '93, Wichman Verlag GmbH, Karlsruhe;
- Hildebrandt G., 1992, *Central European Contributions to Remote Sensing and Photogrammetry in Forestry*, Proceedings of the IUFRO Contential. Berlin-Eberswalde;
- Honowski J., Huflejt T., 1988, *O występowaniu zasnui wysokogórskiej, Cephalcia falleni (Dalm.) (Hymenoptera, Pamphilidae), w Gorczańskim Parku Narodowym*, Pol. Pis. Ent. 58: 433-445;
- Koehl M., Oester B., 1994, *Photogrammetrie in der Schweizerischen Forstwirtschaft*, Photogrammetrie und Forst, Freiburg;
- Loch J., 1991, *Regeneracja drzewostanu górnoreglowego boru świerkowego zniszczonego przez zasnuję wysokogórską Cephalcia falleni (Dalm.) na przykładzie Mostownicy w Gorczańskim Parku Narodowym*, Prądnik, 4:49-56;
- Mansberger R., 1991, *Methodik der Luftbildinventur beim Oesterrichischen Waldschaden-Beobachtungssystem*, Proceedings der 43. Photogrammetrischen Woche Stuttgart;
- Mansberger R., 1994, *Digitale Photogrammertrie, Anwendungen in der Forstwirtschaft*, Photogrammetrie und Forst, Freiburg;
- Mansberger R., 1996, *True Colour Visualisation of Colour Infrared Aerial Photographs*, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. VII, ISPRS, Wien;
- Mycke-Dominko M., 1997, *Spektrostrefowa ortofotomapa w badaniu pożaryska, W: Nowoczesna ortofotografia i GIS dla potrzeb gospodarki terenami*, Archiwum Fotogrametrii Kartografii i Teledetekcji, Kraków;
- Sitek Z., 1990, *Słownik pięcioletni zakresu fotogrametrii i teledetekcji*, Tom I, Wydawnictwo AGH, Kraków;
- Węgrzyn Z. 1995, *Uwagi o przydatności ortofotografii cyfrowej w urządzaniu terenów wiejskich*, Archiwum Fotogrametrii Kartografii i Teledetekcji, Vol. 3, Kraków;
- Wężyk P., 1995, *Darstellung des Schwermetallbelastungsgradienten des Wolski Waldes unter Einsatz eines GIS und Fernerkundungsdaten*, Salzburger Geographische Materialien, Heft 22 AGIT, Salzburg;
- Wężyk P., Mansberger R., 1997, *Przykład wykorzystania ortofotografii cyfrowej i systemu GIS w leśnictwie*, Nowoczesna ortofotografia i GIS dla potrzeb gospodarki terenami, Archiwum Fotogrametrii Kartografii i Teledetekcji, Kraków;
- Wężyk P. 1997, *Leśnictwo i ochrona przyrody*, Kompleksowe wykorzystanie informacji ze zdjęć lotniczych, Część III, Szczegółowe aplikacje zdjęć lotniczych w różnych dziedzinach gospodarki narodowej, Skrypt, Kraków-Sieradz.