

Piotr Węzyk¹
Reinfried Mansberger²

PRZYKŁAD WYKORZYSTANIA ORTOFOTOGRAFII CYFROWEJ I SYSTEMU GIS W LEŚNICTWIE

Motto:

„... obraz ma wartość tysiąca słów” -

„... jeden piksel ma wartość tysiąca wektorów” (Shears et al., 1996)

Streszczenie

Rozwój techniki komputerowej wymusił na producentach urządzeń fotogrametrycznych zastąpienie elementów optycznych i mechanicznych procesorami i układami scalonymi. Fotogrametria analityczna wypierana jest przez fotogrametrię cyfrową wykorzystującą coraz szybsze komputery i nowoczesne programy. Automatyczne i pół-automatyczne metody przetwarzania obrazu przez nowoczesne stacje fotogrametryczne, zapewnia leśnictwu wielu mocnych narzędzi w zbieraniu danych dla tworzonych systemów GIS.

W opisywanym projekcie do wygenerowania ortofotografii w skali 1:10 000 oraz 1:5000 wykorzystano panchromatyczne zdjęcia lotnicze w skali 1:20 000 z roku 1993 oraz leśną cyfrową mapę gospodarczą i bazę systemu GIS dla terenu Lasu Wolskiego w Krakowie.

Łączenie plików jakimi są: cyfrowa ortofotografia i numeryczna leśna mapa gospodarcza (wraz z bazą danych) wykazuje niewątpliwe zalety i to nie tylko na ekranie monitora, ale także w postaci analogowej tj. wydruku

¹ Katedra Ekologii Lasu, Wydział Leśny, Akademia Rolnicza w Krakowie, rlwezyk@cyf-kr.edu.pl

² Institut für Vermessung, Fernerkundung und Landinformation, Universität für Bodenkultur, Wien; Austria; e-mail: mansberg@edv1.boku.ac.at

(mapy rzeczywistej). Zaistniała wreszcie szansa na to, że wraz z wielkim przedsięwzięciem jakim jest budowa systemu informatycznego dla Lasów Państwowych (SILP), zdjęcia lotnicze w postaci ortofotomapy cyfrowej „trafią pod strzechy” Nadleśnictw L.P. czy też Parków Narodowych. Ortofotomapa i Cyfrowy Model Terenu otwierają nową przestrzeń (2D→3D) w myśleniu, planowaniu i działaniu nie tylko samych fotogrametrów, ale także służb leśnych: Lasów Państwowych i Parków Narodowych.

1. Wprowadzenie

Rozwój nowoczesnej gospodarki uzależniony jest od tempa adaptacji technik obliczeniowych, które w ostatnich dziesięcioleciach przyjęły drogę rewolucyjnego rozwoju. Techniki fotogrametryczne jeszcze niedawno bazujące na optyce i mechanice, dziś wykorzystują procesory i układy scalone, a opracowania analogowe zastąpiły cyfrowym przetwarzaniem obrazu. W miejsce fotogrametrii analitycznej wkracza zdecydowanie fotogrametria cyfrowa, zastępując drogą autografy analityczne coraz tańszym sprzętem komputerowym. W ostatnich latach pojawiły się na rynku komputery o dużej mocy obliczeniowej, dużych wielkościach pamięci operacyjnych i szybkich procesorach. Tym samym lepiej i szybciej można poddawać obróbce duże ilości danych zarejestrowanych na zdjęciach lotniczych. Temu właśnie zawdzięcza przełom fotogrametria cyfrowa.

Nowoczesne leśnictwo to nie tylko nowoczesny sprzęt komputerowy ale przede wszystkim nowoczesne myślenie i stosowanie tych urządzeń na etapie planowania i wykonawstwa. Leśnictwo jako ważna gałąź gospodarki nie powinna podlegać wyjątkom co do wprowadzania i przechodzenia na coraz to nowsze platformy obliczeniowe. Fotogrametria cyfrowa z jej automatycznymi i półautomatycznymi metodami opracowywania obrazów, oferować może wielu dziedzinom nauki, w tym szczególnie leśnictwu, mocnych narzędzi w zbieraniu danych tematycznych (opisowych) i geometrycznych.

2. Zastosowania ortofotografii cyfrowej w leśnictwie

W minionym okresie w Polsce ortofotomapy i fotomapy nie znalazły powszechnego zastosowania. Było to uwarunkowane różnymi względami m. in. tajemnicą materiałów fotogrametrycznych (Węgrzyn, 1995) Tymi samymi względami było zaniechanie kartowania obszarów leśnych oraz opracowanie różnych map tematycznych na podstawie zdjęć lotniczych przez służby leśne tj. Biuro Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej.

Fotogrametria cyfrowa jest techniką do opracowania geometrycznych, radiometrycznych i semantycznych informacji obiektów trójwymiarowych (3D) na podstawie dwuwymiarowych (2D) cyfrowych zdjęć tych obiektów.

tów (Heipke, 1993). Obiekt przedstawiany na obrazie cyfrowym niesie z sobą informacje spektralne w postaci liczb całkowitych.

Wprowadzenie fotogrametrii do leśnictwa nastąpiło już ponad 100 lat temu bo w roku 1887, kiedy to wykonane zostało zdjęcie z balonu dla celów urządzania lasu w okolicach Berlina (Hildebrandt, 1992). Rozwój technik fotogrametrii przynosił leśnictwu nowe możliwości począwszy od kartowania granic zasięgów formacji leśnych, poprzez planowanie gospodarczego podziału przestrzennego, aż po wielkoobszarowe inwentaryzacje stanu zdrowotnego drzewostanów w oparciu o zdjęcia spektrostrefowe.

Już kilka lat temu w Słowenii testowano programy komputerowe (DMS, PCI) oparte na platformie obliczeniowej PC do tworzenia ortofotografii cyfrowej, dla celów kartowania drzewostanów. Skanowania zdjęć lotniczych dokonywano skanerem o rozdzielczości od 300 do 2400 dpi. Dokładność tej ortofotografii opracowanej ze zdjęć w skali 1: 17 500 wynosiła około: 4.6 do 6.6 metrów. Można ją uznać za wystarczającą dla tych celów przy tak nieznacznym zaangażowaniu środków finansowych jakim było zakupienie mikrokomputera PC i niedrogiego skanera. (Hocevar, M et al., 1994). Z terenu Czech znane jest już zastosowanie programu komputerowego o nazwie PhoTOPOL, za pomocą którego generowano CMT i ortofotografię dla terenów leśnych w Beskidach (Židek et al., 1996).

W przeciwieństwie do ww. niedrogiego systemu pracującego na platformie PC, w wielu krajach europejskich stosuje się oprogramowania wymagające stacji roboczych i opartych na systemie Unix (np. Image Station, Helava, PCI). Przykładem mogą być projekty inwentaryzacji stanu zdrowotnego lasów i kartowania terenów podmokłych w Szwajcarii. Prócz sporządzania ortofotografii i generowania CMT prowadzi się tam prace nad opracowaniem algorytmów do klasyfikacji obrazu. Mają one za zadanie ułatwiać i przede wszystkim zaoszczędzić pracę interpretatorom przy kartowaniu dużych powierzchni. Na razie są to aplikacje potrafiące rozróżniać obiekty „Las” od obiektu „Nie Las” itp. Dalej jednak największy ciężar pracy spoczywa na interpretatorze, który decyduje o klasyfikacji danych drzewostanów pod kątem wielu cech (Koehl, 1994). Oczywiście stacje robocze (WS) mają jeszcze przewagę nad mikrokomputerami (PC) pod kątem mocy obliczeniowej, ale różnica ta zaciera się coraz szybciej (np. kilkuprocesorowe PC z procesorami Pentium Pro). O jakości i czasie automatycznego generowania CMT (metoda np. autokorelacji obrazu) decydują algorytmy. Dla obliczenia współrzędnych około 40.000 punktów w regularnej siatce, system potrzebuje 30 minut (Image Station, Intergraph), co wprawnemu fotogrametrze zabrałoby około 40 godzin. Model ten potrzebny w dalszych etapach tworzenia ortofotografii staje się w końcu produktem ubocznym, który jednak dla potrzeb leśnictwa może mieć kapitalne znaczenie (np. mapy spadków i ekspozycji (Mansberger, 1994).

Istnieją już próby wykorzystania ortofotografii cyfrowej w badaniach dynamiki przyrostu drzewostanów. W tym celu porównuje się CMT wygenerowane dla terenów pokrytych lasem w różnych odstępach czasowych i oblicza się różnice wartości przyrostu na osi wysokości „Z”. Uzyskane informacje o przyroście drzewostanów na wysokość można korelować z przyrostem miąższości na pniu (Miller, 1994).

Możliwa do przeprowadzenia jest rewizja map w drodze digitalizacji obiektów bezpośrednio na ekranie. Obraz ortofotografii służy do opracowania edycji map wektorowych, które w stosunkowo prosty sposób można zaktualizować. (Armenakis C., Regan A., 1996)

3. Opracowanie ortofotografii cyfrowej.

3.1. Materiały (zdjęcie lotnicze, parametry orientacji, CMT)

Ortofotografia powstaje w efekcie przetwarzania małych powierzchni zdjęcia lotniczego do jednakowej skali przy równoczesnym usunięciu zniekształceń obrazu spowodowanych różnicą wysokości terenu i nachyleniem zdjęcia (Sitek, 1990).

W opisywanym projekcie do wygenerowania ortofotografii w skali 1:10 000 oraz 1:5000 wykorzystano panchromatyczne zdjęcia lotnicze w skali 1:20 000 z roku 1993 oraz leśną cyfrową mapę gospodarczą i bazę systemu GIS dla terenu Lasu Wolskiego w Krakowie. Zarówno zdjęcia lotnicze jak i punkty nawiazania nie były najlepszej jakości (odbity stykowy, słaby kontrast zdjęć, zła geometria rozmieszczenia punktów nawiazania i mała ich ilość), jednak poniższy projekt miał na celu pokazanie konkretnych możliwości zastosowania ortofotografii cyfrowej i jej integrację z systemem GIS.

Jakość i ilość tematycznej informacji zawartej w ortofotografii jest zależna od jakości zdjęcia lotniczego. Z tego powodu powinno się przestrzegać następujących zasad przy wykonywaniu zdjęć lotniczych:

- **Wybór filmu.** Ze względu na różnice w odbiciu spektralnym roślinności, uzyskuje się najlepsze zróżnicowanie rejestracji koron poszczególnych gatunków drzew leśnych i ich stanu zdrowotnego przy użyciu filmu spektrostrefowego (Mansberger R. et al., 1991). Niedogodnością takich zdjęć (np. film Kodak Aerochrome 2443) dla niewprawnego obserwatora mogą okazać się dość niecodzienne barwy (zielony las przedstawiany jest w tonach czerwonych). Dzięki technikom przetwarzania obrazu jest możliwa zamiana poszczególnych „fałszywych” barw na „naturalne”. Zdjęcia przybrać jednak muszą formę cyfrowego zapisu obrazu (Mansberger, 1996).

- **Wybór obiektywu.** Użycie obiektywu o dużej odległości obrazowej zapewnia ograniczenie niekorzystnego wpływu winietowania. Wadą natomiast staje się stosunkowo gruba warstwa atmosfery jaka znajduje się pomiędzy rejestrowanym obiektem, a kamerą co powodowane jest wysokim pułapem samo-

lotu. Tym samym wpływ atmosfery niekorzystnie uwidacznia się na kontraście zdjęcia. Tę wadę można jednak w dużej części wyeliminować w przypadku zamiany zdjęć na obraz cyfrowy (przetwarzanie obrazu, specjalne algorytmy do korekcji negatywnego wpływu atmosfery)

- **Moment ekspozycji zdjęć (pora roku i dnia).** Nalot powinien zostać wykonany w szczycie sezonu wegetacyjnego tj. kiedy wszystkie gatunki drzew posiadają w pełni wykształcony aparat asymilacyjny i nie zaczynają się jeszcze przebarwiać. W naszych warunkach klimatycznych ma to miejsce na początku lipca. Naturalne zmiany w proporcji barwników w liściach w późniejszym czasie (w górach przebarwienia zaczynać się mogą już w sierpniu) mogą negatywnie wpłynąć na ocenę stopnia uszkodzenia koron drzew ze zdjęć spektrostrefowych. Wybór godzin południowych powoduje istotne skrócenie się cienia przez co korony mogą być lepiej oceniane. Należy jednak zastanowić się nad zróżnicowaniem czasu nalotu dla poszczególnych stoków (np. stoki eksponowane w kierunku wschodnim w godzinach przedpołudniowych)
- **Skala zdjęcia.** Jest to cecha bardzo istotna dla geometrycznej dokładności i rozpoznania szczegółów na zdjęciu. Związek pomiędzy skalą zdjęcia, a założoną skalą ortofotografii przybiera następującą formę (Jordan et al., 1972) :

$$\text{Mianownik skali zdjęcia} = 55 \cdot \sqrt[3]{\text{mianownik_skali_ortofotografii}^2} \quad (1)$$

Cyfrowy model terenu niezbędny w procesie generowania ortofotografii można uzyskać na cztery różne sposoby, tj. poprzez:

- a) digitalizację linii warstwicznych z istniejących map analogowych. Wymagane dobrej jakości mapy topograficzne. Praca bardzo żmudna. Tempo pozyskiwania informacji : około 2000 punktów /1 godz.
- b) ręczny pomiar fotogrametryczny na autografie (np. analitycznym). Tempo pomiarów: około 1000 - 1500 pkt. /1 godz. (w zależności od konfiguracji terenu [różnic wysokości „z” punktów], wielkości siatki - [szybkość przemieszczania znacznika pomiarowego ok. 30 mm/s])
- c) automatyczny pomiar wysokości punktów (autokorelacja): Ten proces został znacznie przyspieszony poprzez rozwój oprogramowania pracującego na stacjach fotogrametrycznych (Soft Copy Stations). Zaletą tego postępowania jest duże tempo pozyskiwania punktów. W zależności od konfiguracji terenu i gęstości założonej siatki można uzyskiwać do ok. 300 000 pkt./1 godz. Z tej liczby pomiarów program (MATCH-T) interpoluje wartości dla założonej wcześniej siatki punktów w ilości np. 30 000. Należy zdawać sobie jednak sprawę iż w ten sposób otrzymujemy najczęściej nienaturalny model terenu (CMT) lecz cyfrowy model powierzchni (CMP) tj. wszystkich obiektów na zdjęciu występujących: drzew, budynków, mostów etc. Wpływ na dokładność ortofotografii tych dwóch modeli zostanie omówiony w rozdziale 3.2.

- d) kombinowany pomiar: ręczny i automatyczny. Dokładny pomiar form terenu o charakterze linii nieciągłości terenu metodą opisaną w podpunkcie c) doprowadziłby przy dodatkowo zagęszczonej siatce do ogromnej ilości danych i wydłużenia czasu pomiaru. Aby temu zapobiec wykonuje się ręczną digitalizację tych obiektów na modelu stereoskopowym co ułatwia cały proces i pozwala na jego kontrolę.

Niezależnie od generowania CMT w automatycznym procesie (ImageStation) dla terenu Lasu Wolskiego utworzono drugi model za pomocą modułu TIN, części pakietu Arc/Info ver. 7.0.1 (ESRI, WS DEC 3000 Digital). Jego zastosowanie przewidziane jest w następnym etapie badań nad różnicami CMT i CMP. W tym celu poddano digitalizacji 6 arkuszy map geodezyjnych (układ 1965) Krakowa w skali 1:5 000. Wykorzystano linie warstwiczne z cięciem 10 metrowym (czasem 5-cio metrowym) oraz w celu lepszej interpolacji niektóre punkty wysokościowe (Wężyk, 1995).

Punkty wysokościowe próbowano pomierzyć na autografie analitycznym Leica SD 2000 w Katedrze Planowania Krajobrazu i Ochrony Przyrody (LNN) na Wydziale Leśnym Uniwersytetu w Monachium ze zdjęć Lasu Wolskiego w skali 1:20 000. Ze względu na dużą czasochłonność tej metody (pomimo aplikacji wspomagających - automatyczne przesuwanie znacznika pomiarowego w siatce x,y) i problemy w określaniu wysokości na terenach leśnych, metodę tę zarzucono. Wybrano metodę kombinowanego pomiaru opisaną dalej w pkt. 3.2.3.

3.2. Ortofotografia cyfrowa Lasu Wolskiego.

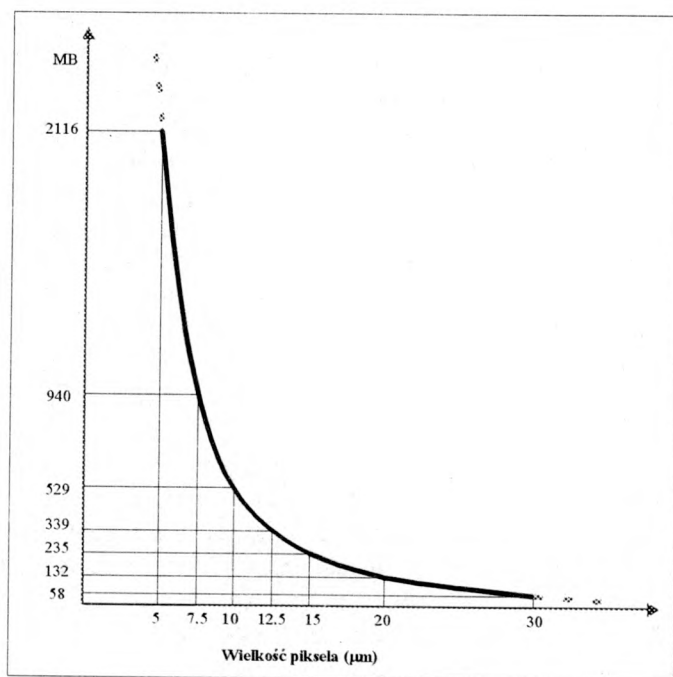
3.2.1 Skanowanie zdjęć lotniczych.

Dokładność cyfrowej ortofotografii zależy w pierwszym rzędzie od: skali zdjęcia, lokalizacji i interpretacji punktów nawiazania, jakości cyfrowego modelu terenu, wybranej kamery oraz jakości geometrycznej skanera.

Aby ograniczyć starty informacji powinno się ustalić wielkość piksela odpowiadającą rozdzielczości terenowej filmu. W przypadku omawianego materiału odpowiada to około 10 μm . Rysunek 1 ilustruje wielkości danych (MB) uzyskiwanych podczas przekształcania zdjęć analogowych na postać cyfrową w zależności od wielkości piksela. Dla zdjęć barwnych należy te wartości pomnożyć jeszcze trzykrotnie (RGB)! Zbiory można poddać kompresji i algorytmom wyrównywania (Novak, Shanin, 1993) uzyskując redukcję do 1/3 początkowej wartości, zatem nie stanowią one obecnie dużych ograniczeń w dalszych opracowaniach zdjęć i zachowaniu dużej rozdzielczości.

Dla projektu „Las Wolski” użyto 6-ciu zdjęć panchromatycznych o pokryciu stereoskopowym w skali 1:20 000 (rozdzielczość terenowa w granicach 0.5 metra), które przekształcono na obraz cyfrowy na wysokiej klasy

skanerze PS1 firmy ZEISS-INTERGRAPH w Instytucie Geodezji, Teledetekcji i Informacji Przestrzennej (IVFL) na Uniwersytecie Rolniczym w Wiedniu. Wielkość piksela przyjęto na poziomie $30\text{ }\mu\text{m}$.



Rys.1. Zależność pomiędzy rozmiarem piksela, a wielkością pliku mierzoną w MB.

3.2.2. Orientacja zdjęć.

Zdjęcia orientowano na podstawie punktów nawiazania pochodzących z instytucji geodezyjnych (KPG-Kraków) oraz pozyskanych dodatkowo na drodze aerotriangulacji wykonanej autografem analitycznym Leica SD2000 (LNN, Uniwersytet w Monachium). W efekcie uzyskano pięć modeli stereoskopowych, które dla dalszych prac musiały zostać przekształcone na zbiór promieni rdzennych. Przy tym została usunięta powstająca paralaksa „y” poprzez skręcanie i przesuwanie obu zdjęć. Takie przekształcenie wywołuje pozytywny skutek na pracę komputera, ponieważ te same punkty na obu zdjęciach modelu leżą na tych samych promieniach rdzennych, przez co może być realizowana wizualizacja stereoskopowa, a dalsza zaleta ujawnia się przy

automatycznym obliczaniu CMT, gdyż poszukiwania na zdjęciach stereogramu odpowiadających sobie pikseli zredukowane jest do poszukiwania wzdłuż promieni rdzennych.

3.2.3. Generowanie Cyfrowego Modelu Terenu

Na każdym z pięciu modeli pomierzono (Image Station, Intergraph) ręcznie linie nieciągłości terenu. Przy tej czynności rozróżniano: krawędzie (lokalne maksima wysokości), linie rowów melioracyjnych (lokalne minima) lub inne. Digitalizacja odbywała się automatycznie przy użyciu odpowiedniego algorytmu (poszukiwanie punktów co 2m wzdłuż, nie dalej oddalonych od ostatniego wektora niż 0.5m). Dla każdego modelu zdigitalizowano około 25 km linii załamów co zajmowało około 5-ciu godzin pomiarów.

Automatyczne wygenerowanie cyfrowego modelu terenu (a raczej CMP) odbywało się przy zastosowaniu programu MATCH-T firmy INPHO, Stuttgart, w trzech niżej opisanych etapach. W pierwszym etapie z obu zdjęć modelu pozyskano punkty charakterystyczne względnie obiekty liniowe i zachowano je we własnym nowym pliku (Feature-Image). W drugim etapie przystąpiono do wyszukiwania identycznych punktów na zdjęciach modelu metodą autokorelacji. Po zadaniu odpowiednich współczynników do algorytmu autokorelacji wzięto pod uwagę tylko pewną liczbę pomierzonych punktów (około 90.000 w całym projekcie „Las Wolski”). Z tych punktów w trzecim etapie została wyliczona regularna siatka o zadanym boku 20 metrów, co odpowiada około 20.000 punktom na każdy model. Średni czas obliczeń wyniósł około 30 minut dla każdego modelu.

Z niewielkich obliczonych automatycznie, względnie domierzonych ręcznie powierzchni, przy użyciu oprogramowania MSM (MicroStation Modeller, Intergraph) wygenerowano cyfrowy model terenu (triangulacja, model TIN - Triangulated Irregular Network). W procesie tym brano pod uwagę digitalizowane wcześniej linie nieciągłości oraz automatycznie pomierzone punkty (w regularnej siatce). W celu lepszej kontroli jakości wyświetlono stereoskopowy obraz rastrowy oraz wektorową sieć trójkątów (TIN) co umożliwiło dalszą korekcję błędów poprzez ręczne pomiary wysokości.

Cały teren opisywanego projektu jest całkowicie odwzorowany na trzech zdjęciach. Rozdzielczość terenowa ustalona została na 0.6 metra. 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 straty 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).

3.2.4. Ocena procesu sporządzania ortofotografii

Wykorzystane w projekcie „Las Wolski” dostępne zdjęcia panchromatyczne w skali 1:20 000 mają ograniczone zastosowanie dla celów leśnych co uwidacznia się szczególnie w porównaniu ze zdjęciami spektrostrefowymi.

Cyfrowe generowanie ortofotografii ma jednak swoje zalety:

- w zależności od użytego materiału filmowego ortofotografia może być generowana w barwach naturalnych bądź umownych (np. zdjęcia spektrostrefowe) czy na materiale czarno-białym
- cały obraz lub jego część może być poddany obróbce obrazu przez odpowiednie oprogramowanie np. klasyfikacja nadzorowana pikseli podczas opracowania map tematycznych (mozaikowanie, symulacje przestrzenne itp.), istnieje możliwość poprawy obrazu (wzmocnienie kontrastu);
- nie ma poważnych ograniczeń w dokonywaniu powiększeń i pomniejszeń wycinków bądź całego obrazu ortofotografii cyfrowej (kluczową rolę odgrywa oczywiście wielkość piksela z jaką dokonano skanowania zdjęć lotniczych);
- w procesie opracowania ortofotomapy nie ma potrzeby generalizacji kartograficznej jej treści;
- dokładność ortofotografii można podwyższać poprzez pozyskiwanie bardziej dokładnych współrzędnych punktów nawiazania lub dodawanie nowych (np. w celu poprawienia geometrii ich położenia). Pomocne może okazać się w tym przypadku użycie odbiorników GPS;
- ortofotografia cyfrowa może stanowić tło dla nakładanych kolejno wektorowych warstw informacyjnych, umożliwia bezpośrednią wektoryzację na ekranie monitora;
- cyfrowy model terenu jest produktem ubocznym. Można go wykorzystać przy prezentacji 3D, tj. nakładać obraz rastrowy cyfrowej ortofotografii na wektorowy model terenu;
- jest obrazem rastrowym pozbawionym zniekształceń spowodowanych dyspersją obiektywu kamery, nachyleniem kamery oraz rzeźbą terenu, praktycznie gotowym do integracji z GIS.

3.3. Dokładność ortofotografii

Jak już wspomniano w rozdziale 3.2 jakość informacji tematycznej i geometrycznej zawartej w ortofotografii uzależniona jest od następujących czynników:

- a) skali: zdjęcia względnie ortofotografii;
- b) wybranej do zdjęć kamery;
- c) dokładności osnowy (punkty nawiazania);

- d) geometrycznej jakości skanera;
- e) wielkości zastosowanego piksela;
- f) jakości CMT (CMP)

Cyfrowe względnie zdigitalizowane zdjęcia są w zasadzie wolne od tzw. skali. Można je dowolnie pomniejszać i powiększać i wyświetlać np. na monitorze lub otrzymywać wydruki. Cyfrowa fotogrametria używa jednak dalej określenia „skala” co powinno być jednak raczej kojarzone z „oczekiwaną rozpoznawalnością szczegółów”. Skala zdjęć lotniczych 1:20 000 odpowiada rozpoznawaniu szczegółów o wielkości około 15 cm do 25 cm, 1:10 000 - od 7 cm do 10 cm. Przy sporządzeniu ortofotografii cyfrowej można w dowolny sposób przyjąć skalę względnie wielkość piksela z jakim skanujemy co ma oczywiście wpływ na rozróżnianie szczegółów na ortofotografii. Należy jednak pamiętać, że rozpoznawalność elementów powierzchniowych takich jak korony drzew maleje do kwadratu wraz ze skalą obrazu.

Dokładność osnowy wpływa bezpośrednio na jakość ortofotografii. Szczególnie przy tworzeniu obrazów mozaikowych, mało precyzyjnie określone punkty nawiązania powodują występowanie niezgodności na obrazach łączonych ze sobą. Odnosi się to szczególnie do elementów liniowych np. dróg, rowów melioracyjnych. Można temu trochę zapobiec pozyskując punkty z aerotriangulacji co powoduje wzrost homogeniczności pomiędzy modelami i lepsze ich dopasowanie. Nie niesie to za sobą oczywiście poprawy bezwzględnej dokładności a tylko względnej.

W fotogrametrii cyfrowej używa się precyzyjnych skanerów o możliwościach pozycjonowania wózka w granicach 1-2 μm , co w zupełności spełnia stawiane wymogi. Użycie tanich skanerów może powodować, iż otrzymywane obrazy zawierać będą błędy, które nie zawsze są łatwo zauważalne (błędy pozycjonowania przy tej samej wskazywanej ilości pikseli).

Przy wytwarzaniu ortofotografii zostaje przekształcony rzut środkowy zdjęcia lotniczego na rzut ortograficzny. Przy zastosowaniu CMT punkty o znanych współrzędnych (x,y,z) zostają poprawnie zlokalizowane na ortofotografii. Jeśli w danym terenie znajduje się jakiś budynek lub drzewo, to przy zadanej wysokości „z”, tylko podstawa domu lub nasada pnia jest poprawnie zlokalizowana. Szczyt dachu, względnie korona drzewa ulega przesunięciu na ortofotografii w stosunku do rzeczywistej lokalizacji. Im dalej obiekt oddalony będzie od punktu głównego zdjęcia i im mniejsza będzie stała kamery, tym błąd położenia obiektu (o danej wysokości) na ortofotografii, będzie większy. Aby podnieść jakość otrzymywanego obrazu należy stosować obiektywy o dużych ogniskowych. Można ograniczać się do opracowania fragmentów zdjęć położonych jak najbliżej punktu głównego co powoduje zwiększenie się ilości modeli, kosztów zakupu zdjęć i nalotu, i wymaga pokrycia podłużnego 80% oraz poprzecznego 40%).

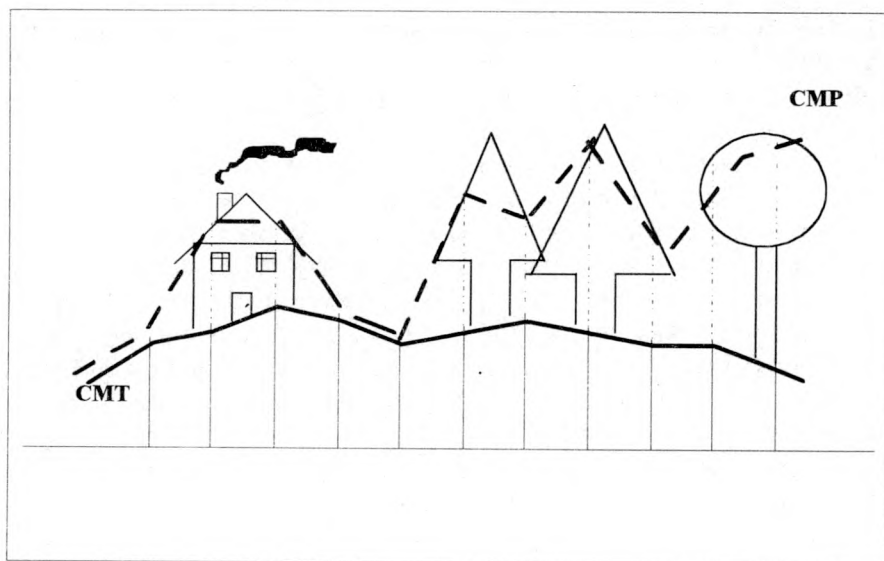
Automatyczne generowanie cyfrowego modelu terenu nie jest w stanie określić rzeczywistą współrzędną „z” (wysokość „z” terenu). W efekcie tego

procesu otrzymujemy cyfrowy model powierzchni (CMP), na którym występują obiekty o różnych wysokościach np. domy czy drzewa (Rys. 2). W CMP wysokość drzewa czy też szczyt dachu zostaje zdefiniowany poprzez pomiar współrzędnej „z”, co prowadzi do innej sytuacji „błędnej lokalizacji” obiektu na ortofotografii niż w przypadku użycia właściwego CMT. Wierzchołek korony drzewa w takim wypadku ma poprawne wartości współrzędnych (x,y,z) w przeciwieństwie do nasady pnia, którego lokalizacja ulega przesunięciu na ortofotografii. Ma to nawet pewną zaletę w zastosowaniu ortofotografii w leśnictwie, a mianowicie: w drzewostanach o dużym zwarcie nie sposób obserwować nasady pnia, a poprawną lokalizację wierzchołka korony i powierzchni tworzonych przez pułap koron drzew można wykorzystać przy cyklicznych inwentaryzacjach (ocena stanu zdrowotnego tych samych drzew w różnych okresach czasu) i przy opracowaniu map cyfrowych (granice wydzielen).

Dokładność sytuacyjną Δ_{so} cyfrowego modelu terenu (lub CMP) można obliczyć wzorem (2), przy czym wielkość błędu CMT (σ_{CMT}) oznacza różnicę wysokości Δh obiektu w znanym wzorze na przesunięcie obrazu dla promienia radialnego r na zdjęciu lotniczym; c_k - stała kamery, a m_o - mianownik skali ortofotografii:

$$\Delta_{so} = \frac{r \cdot \sigma_{CMT}}{c_k \cdot m_o} \quad (2)$$

Dla projektu „Las Wolski” oceniono dokładność CMP na około 1,5 metra w terenie (w narożnikach zdjęcia $r = 16$ cm). Dla ortofotografii w skali 1:5 000 oznacza to niedokładność około 0.3 mm. W rzeczywistości wielkość błędu może się znacznie zmieniać, ponieważ należy uwzględnić, iż został on wyinterpolowany w siatce 20 x 20 metrów co w niektórych obszarach zdjęcia o silnie urozmaiconej rzeźbie terenu prowadzić może to pewnych nieprawidłowości. Jeszcze raz należy podkreślić iż wymienione tu dokładności odnoszą się do powierzchni mierzonych przy zastosowaniu CMP. Przy zastosowaniu wzoru (2) na wielkość Δ_{so} , przy przyjętej za średnią wysokości drzew równą 20 m i automatycznym generowaniu CMP, położenie nasady pnia drzew może być obarczone błędem, aż do około 4 mm (dla ortofotografii w skali 1:5 000). Stąd wydaje się konieczne sprecyzowanie powierzchni odniesienia (współrzędnej „z”) przy produkcji ortofotografii.



Rys. 2. Cyfrowy model terenu (CMT) oraz Cyfrowy Model Powierzchni (CMP)

4. Integracja ortofotografii z systemem GIS

Aktualność danych w powiązaniu z ich dokładnością, kompletnością i spistością decyduje o wartości systemu GIS. Dlatego też częste i regularne uaktualnianie treści baz danych zawartych w komputerowych systemach w stosunku do ciągłych zmian opisywanych przez nie obiektów jest bezwzględnie konieczne. Aby takie zmiany uchwycić można wykorzystać różne źródła informacji. Baza systemu GIS w leśnictwie składa się z dwóch podstawowych jednostek: bazy geometrycznej oraz bazy opisowej utworzonej i administrowanej w odpowiednim oprogramowaniu.

Wykonuje się już próby łączenia dwóch obrazów rastrowych (program Idrisi) tj. wygenerowanej ortofotografii cyfrowej i cyfrowych map granic oddziałów i wydzielen tworząc w ten sposób tzw. drzewostanową ortofotomapę (Hocevar et al. 1994). Inne systemy GIS takie jak Arc/Info (ESRI) czy MGE (Intergraph) umożliwiają w pełni łączenie ze sobą obiektów rastrowych i wektorowych. W ten sposób dokonana integracja może przyczynić się do poprawy jakości kartograficznej map poprzez dodanie wielu nowych elementów (tekstury obiektów) i wyeliminowanie innych treści opisowych zbędnych w takiej kombinacji (np. jezioro, łąka).

Wizualizacja efektów zalesień dużych obszarów rolniczych dokonana na ekranie monitora to kolejny przykład zastosowań cyfrowej ortofotografii i GIS w planowaniu przestrzennym dla celów leśnictwa. Aby wirtualny obraz był jeszcze bardziej realny pozyskuje się teksturę zalesień (np. uprawy gatunków liściastych w odpowiednim wieku) z ortofotografii bądź innych zdjęć i dokonuje prezentacji w rzucie izometrycznym (Wuerlander R. et al., 1996). Stosując specjalistyczne oprogramowanie (np. ERDAS Imagine Virtual GIS) możliwe jest w czasie rzeczywistym tworzenie obrazów wirtualnych trójwymiarowych poprzez nakładanie warstw informacyjnych z systemu GIS na CMT z nałożoną wcześniej na niego ortofotografią. Technikę drapowania³ stosuje się zwykle w takim przypadku w opcji półprzeźroczystej, w celu poprawienia efektu wizualizacji. W takich wypadkach mamy do czynienia z przejściem od tzw. „2D” (a raczej „2,5D”) do „3D-GIS” lub tzw. „P-GIS” co oznaczać może Photogrammetry-GIS lub Power! - GIS. (Armenakis C., Regan A., 1996; Mayr W., Reinhardt W., 1996).

Cyfrowa fotogrametria umożliwia więc nie tylko wizualizację ale także pozyskiwanie danych 3D bezpośrednio do systemu GIS. Relacja pomiędzy cyfrową ortofotografią, a GIS jest więc dwukierunkowa. Z obrazów rastrowych pozyskuje się dane dla warstw informacji budowanych w GIS lecz w tym samym czasie z tego samego systemu importowane są informacje niezbędne dla operacji tworzenia ortofotografii lub w celu aktualizacji zmian (Agouris P., Stefanidis A., 1996).

W ramach prac nad systemem GIS dla Lasu Wolskiego przeprowadzono fotogrametryczne opracowanie diapozytywów z lat 1991 (1:20 000) oraz 1953 (1:10 000) na autografie analitycznym SD 2000 firmy Leica, w Monachium (LNN). Skoncentrowano się na digitalizacji kompleksów leśnych, a w szczególności na przebiegu: granicy lasu, dróg, ścieżek i polan leśnych oraz budynków zabudowań klasztornych z otaczającymi je murami i terenu Kopców (Wężyk, 1995). W wyniku prac sporządzono różne mapy tematyczne. Opracowanie fotogrametryczne obiektów liniowych było bardzo ważne ze względu na ich występowanie na leśnych mapach gospodarczych i tym samym możliwość transformacji tych ostatnich w przyjęty układ współrzędnych. Edycję map prowadzono w programie typu CAD tj. MicroStation (program współpracujący razem z produktem firmy Leica PRO 600 wspomagający autograf analityczny) i eksportowano w formacie DXF do pakietu Arc/Info, gdzie nadawano obiektom topologię i przystapiono do analiz z zakresu GIS. Program Leica PRO 600 umożliwiał także półautomatyczną generację CMT w regularnej siatce pomiarowej, jednak ze względu na dużą czasochłonność zrezygnowano z tej możliwości.. Część punktów pomierzonych na autografie analitycznym (błąd położenia $m_{x,y} = 1.3$ m, błąd wysokości $m_z = 0.5$ m) wykorzystano do orientacji zewnętrznej zdjęć przy tworzeniu

³ drapowanie - (ang. draping) pokrywanie, oblekanie, przykrywanie itp.

cyfrowej ortofotografii, godząc się na błąd z jakim zostały pomierzone. Przeważały jednak względy polepszenia regularnego romieszczenia punktów odniesienia, a nie dążenie do „absolutnej” dokładności ortofotografii.

Bazą geometryczną jest leśna cyfrowa mapa gospodarcza, do której sporządzenia posłużyły:

leśne mapy gospodarcze w skalach 1: 5000 i 1:10 000, mapy geodezyjne Krakowa w skali 1: 5 000 (układ 1965) oraz opracowania fotogrametryczne zdjęć lotniczych terenu z roku 1953 i 1991.

Bazę opisową (Info, Dbase) zestawiono w oparciu o dane z operatu urzędzeniowego z roku 1990. Zawarte w niej informacje dotyczą opisów poszczególnych obiektów (wydzielen) tj.: fazy rozwojowej, wieku, składu gatunkowego, formy zmieszania, zasobności, przyrostu rocznego, siedliskowego typu lasu STL, gatunku gleby, opisu fitosocjologicznego, występującego odnowienia, wielkości powierzchni itp.

Cyfrową ortofotografię po jej wygenerowaniu w Institut f. Vermessung, Fernerkundung und Landinformation (BOKU) w Wiedniu zarchiwizowano na płycie CD-ROM w formacie TIFF. Są to dwa pliki po 43 MB każdy. Do prezentacji graficznej połączono je ze sobą dokonując mozaikowania ich wspólnych krawędzi.

Import obrazów rastrowych do systemu Arc/Info (ESRI) możliwy jest w przypadku używania systemu UNIX dzięki programowi REGISTER. Po dokonaniu wpasowania obrazu przez wskazanie punktów nawiązania, można nakładać na ortofotografię wiele warstw informacyjnych (np. granic oddziałów, wydzielen, opisów)

5. Zastosowania cyfrowej ortofotografii i ich ocena.

Ortofotografia cyfrowa może się stać podstawowym materiałem do prac związanych z wykonywaniem tzw. „Planu urządzania gospodarstwa leśnego”, a szczególnie aktualizacji istniejących map gospodarczych, ze względu na:

- możliwość pozyskania w szybkim czasie aktualnego materiału fotograficznego;
- stosunkowo krótki czas generowania ortofotografii (tereny pokłeskowe np. kartowanie skutków pożarów leśnych);
- obiektywizm kartowania - może ulec zmianie metoda fotointerpretacji, ale materiał zdjęciowy pozostanie dalej obiektywny (np. kartowanie stopnia zdrowotnego drzewostanów);
- malejące koszty wytworzenia ortofotografii w stosunku do kosztów prac geodezyjnych w terenie ;
- możliwość integracji z cyfrową mapą gospodarczą i edycję w celu poprawek bądź aktualizacji na ekranie komputera lub digitalizację na digitajzerze.

Ortofotografia umożliwia ponadto :

- planowanie zabiegów hodowlanych np. zakładanie uprawy wymaga znajomości lokalnych warunków ekspozycji (CMT);
- użytkowanie lasu: np. budowa nowych dróg - konieczność planowania maksymalnych spadków niwelety drogi ;
- pozagospodarcze funkcje lasu: tworzenie terenów prawnie chronionych, ocena walorów krajobrazowych, udostępnianie terenu turystyce;
- wykorzystanie produktu ubocznego tj. CMP do analiz przestrzennych np. stopnia narażenia drzewostanów na imisje przemysłowe czy gradacje owadów czy też do analiz struktury piętrowej drzewostanów (przestrzenne różnicowanie wysokości;
- dowolność skalowania obrazów rastrowych (ograniczona jednak jakością zdjęć analogowych , z których została wygenerowana). Można ją przedstawić w każdym lokalnym układach odniesienia, a co najważniejsze leśnik może używać linijki i dokonywać pomiarów bezpośrednio na ortografii co w przypadku zdjęć lotniczych nie jest możliwe;
- wyznaczenie regularnych sieci punktów monitoringowych lub urządzeniowych nawet w terenie o silnie zróżnicowanej rzeźbie terenu
- szybką wizualizację dla różnych celów: map topograficznych, turystycznych, folderów (grafika wirtualna 3D - perspektywy i rzuty izometryczne np. w celu przeprowadzenia symulacji zalesień, wylesień ,kłesk ekologicznych, pożarów, gradacji owadów, budowy dróg i autostrad, rozwoju zabudowy mieszkaniowej

Do innych funkcji jakie może pełnić ortofotografia w leśnictwie należą:

- pomoc w orientacji w terenie zarówno samym leśnikom jak i służbom administracji terenowej, które często nie potrafią czytać map gospodarczych (np. policja, straż pożarna, wojsko, służby ochrony środowiska itp.)
- pomoc w nawigacji do określonych punktów pozyskanych w drodze digitalizacji ortofotografii na ekranie monitora lub digitajzerze. Stosunkowo prosta wydaje się być nawigacja do punktów siatki monitoringu lub innych obiektów identyfikowanych na ortofotomapie.

6. Uwagi końcowe i podsumowanie

Połączenie cyfrowych plików jakimi są: cyfrowa ortofotografia i numeryczna leśna mapa gospodarcza ma niewątpliwe zalety i to nie tylko na ekranie monitora, ale także w postaci analogowej tj. wydruku (mapy rzeczywistej). Ortofotomapa i Cyfrowy Model Terenu otwierają nową przestrzeń (2D→3D) w myśleniu i działaniach gospodarki leśnej. Stają się nowoczesnymi narzędziami w planowaniu i samym działaniu. Wymagają jednak wy-

soko wykwalifikowanego personelu, dlatego też bardzo istotne jest szkolenie w tym zakresie studentów leśnictwa.

Koszty wytworzenia cyfrowej ortofotografii i CMT są obecnie jeszcze stosunkowo wysokie, jednak ich znaczne obniżenie przewidywane jest w niedługim czasie. Spowodowane to będzie zwiększaniem się mocy obliczeniowych komputerów PC i ich relatywnie niższymi cenami w stosunku do możliwości procesorów.

Liczba firm wykonujących naloty fotogrametryczne będzie stale rosła i przyczyni się to niewątpliwie do obniżenia ceny zdjęć lotniczych przy jednoczesnej poprawie ich jakości. Duże nadzieje wiąże się z coraz lepszymi skanarami i pojawiającymi się kamerami cyfrowymi. Algorytmy wykorzystywane w procesie automatycznej lub półautomatycznej klasyfikacji obrazu (rozpoznawanie tekstury obrazu) nabierają ogromnego znaczenia szczególnie w pozyskiwaniu danych tematycznych dla systemów GIS.

Wszystko wskazuje więc na to, iż w niedługim czasie ortofotografia cyfrowa będzie powszechnie i wszechstronnie używana przez personel Lasów Państwowych czy też Parków Narodowych.

Literatura:

- Agouris P., Stefanidis A., 1996: Integration of photogrammetric and geographic databases. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. XXXI, Part B4, Commission IV, ISPRS, Wien
- Armenakis C., Regan A., 1996: Map revision using digital orthophotos. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. XXXI, Part B4, Commission IV, ISPRS, Wien
- Heipke Chr. 1993: Performance and state-of-the-art of digital stereo processing. In: 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 Continental*. Berlin-Eberswalde.
- Hocevar, M et al. , 1994: Verwendung digitaler Orthophotokarten fuer die forstliche Bestandestkartierung. *Anwendungen in der Forstwirtschaft*. Photogrammetrie und Forst. Freiburg
- Jordan, Eggert, Kneissl, 1972: *Handbuch der Vermessungskunde*, Band IIIa/1, S.341, J.B. Metzlersche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart
- Koehl M., Oester B., 1994: *Photogrammetrie in der Schweizerischen Forstwirtschaft*. Photogrammetrie und Forst. Freiburg

- Mansberger R., 1991: Methodik der Luftbildinventur beim Oesterrichischen Waldschaden-Beobachtungssystem. Proceedings der 43. Photogrammetrischen Woche Stuttgart.
- Mansberger R., 1994: Digitale Photogrammetrie: 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
- Mayr W., Reinhardt W., 1996: Digital Photogrammetry join GIS - A Powerful Combination. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXI, Part B4, Commission IV, ISPRS, Wien
- Miller D.R. et al., 1994: A model of DEM and orthophotograph quality using aerial photography. Photogrammetrie und Forst. Freiburg
- Shears J.C., Allan J.W., 1996: Softcopy photogrammetry and its uses in GIS. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol. XXXI, Part B4, Commission IV, ISPRS, Wien.
- Sitek Z., 1990: Słownik pięcioletni zakresu fotogrametrii i teledetekcji. Tom I. Wydawnictwo AGH, Kraków
- Węgrzyn Z. 1995 : Uwagi o przydatności ortofotografii cyfrowej w urządzeniu terenów wiejskich. Archiwum Fotogrametrii Kartografii i Teledetekcji. Vol.3. Kraków
- Wężyk P., 1995: Darstellung des Schwermetallbelastungsgradienten des Wolfski Waldes unter Einsatz eines GIS und Fernerkundungsdaten. Salzburger Geographische Materialien, Heft 22 AGIT, Salzburg
- Wuerlander R. et al., 1996: Photorealistic terrain visualization using methods of 3D-computer-graphics and digital photogrammetry. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXI, Part B4, Commission IV, ISPRS, Wien
- Židek V., Culdek I., Musilova Z., 1996: První zkušenosti s fotogrammetrickým zpracováním leteckých snímků v systému PhoTOPOL. In Proceedings: Application of Remote Sensing in Forestry. Zvolen, Slovakia

Abstract

Recent developments in computer technology have forced the manufacturers of stereoscopic plotters to replace their obsolete optical and mechanical systems with new processors and computer chips. Current utilization of the latest technology and up-to-date programs have made digital photographs far superior to those of analytical photographs.

Soft Copy Stations, utilising automatic and semi-automatic algorithms, will provide Forestry Service with new tools for data collection and revision in the newest GIS databases.

In the following article, black and white aerial photographs (1:20000) taken in 1993 were entered into the GIS database to create such enhanced digital ortophotomap.

The combination of the two digital files together: ortophotographs (pixel) and forestry maps (vector) creates an unquestionable advantage for the user, not only on the screen, but on the hard copy, as well. The possibility now exists for large computer enterprises to manufacture these new information systems (SILP) for the Polish Forestry Service, enabling widespread use of such digital images (ortophoto) within various branches of the institution. Digital ortophoto and the DTM have opened a new door (2D→3D) for thinking, planning, and implementation, not only for the photogrammetrists, but for the Forestry Service, as well.

Recenzował: Prof. dr hab. inż. Zbigniew Sitek