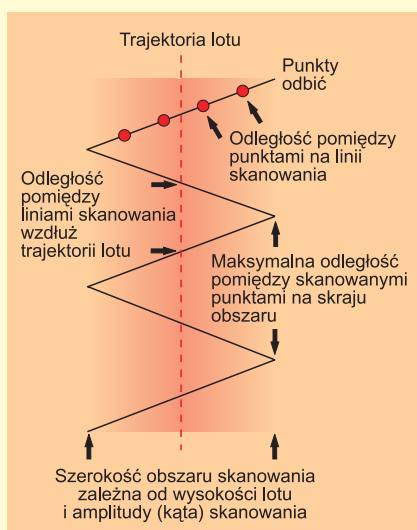


Lotnicze skanowanie laserowe

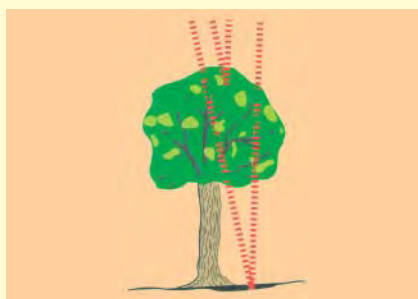
jest szczególnie przydatne do opracowań większych obszarów, takich jak: ■ określenie rzeźby terenu, w tym terenów zalesionych, bagiennych (erozja wybrzeży), a także powodziowych (symulacja powodzi), ■ wyznaczenie wysokości warstwy wegetacyjnej, ■ monitorowanie lodowców, ■ tworzenie przestrzennych modeli miast dla potrzeb planowania sieci telekomunikacyjnych i kontroli poziomu hałasu, ■ projektowanie przebiegu dróg, kolei, rurociągów i kabli, ■ śledzenie przebiegu przewodów wysokiego napięcia, ■ pomiar mas ziemnych w kopalniach odkrywkowych i wysypiskach śmieci.

Skonowanie laserem lotn

LIDAR (Light Detection And Ranging) to teledetekcyjna metoda będąca kompilacją laserowego pomiaru odległości z kinem



Rys. 1. Rozkład punktów odbić w zależności od parametrów systemu



Rys. 2. Odbicie sygnału i penetracja korony drzewa

● Działanie systemu

Najważniejszym elementem LIDAR jest skaner laserowy montowany w łuku podłogowym samolotu [patrz też GEODETA 2/99 – red.]. W regularnych odstępach czasu urządzenie to emituje promień pulsujący za sprawą bardzo szybkiej rotacji lustra skanera. Impuls lasera „czesze” teren prostopadle do kierunku lotu i pokrywa pomiarem obszar o szerokość do 700 m. Połączenie ruchu samolotu z oscylacją promienia lasera tworzy w terenie „zygzak” odbitych punktów (rys. 1). Promienie odbite od powierzchni terenu rejestrowane są przez układ optyczny skanera.

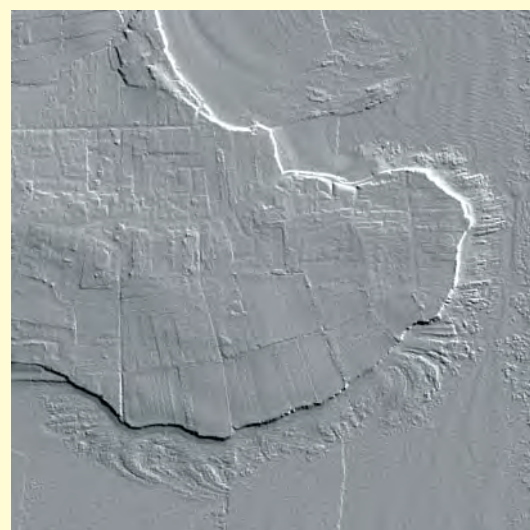
Ustawienie parametrów takich jak szerokość skanowanego pasa, częstotliwość sygnału i odległość pomiędzy skanowanymi liniami uzależniona jest od celu pomiaru. Zagęszczenie punktów pomiarowych można zmieniać, modyfikując szybkość lotu, kąt i częstotliwość skanowania.

Pozycja samolotu określana jest za pomocą pomiaru DGPS i INS (inercyjny system nawigacyjny rejestrującego przyspieszenie i kąt pochylenia samolotu względem trzech osi), które pozwalają na obliczenie współrzędnych każdego zeskanowanego punktu z dokładnością rzędu 10 cm. W system wbudowana jest

kamera wideo rejestrująca w czasie pomiaru obraz skanowanego terenu, co umożliwia późniejszą filtrację danych i interpretację wyników.

● Pomiar

Lotniczy skaner laserowy może wykonywać pomiary zarówno w ciągu dnia, jak i no-



Rys. 3. DTM wygenerowany dla oceny erozji wybrzeża



Rys. 5. DTM wygenerowany dla oceny erozji wybrzeża pokazujący rzeźbę intensywnością odbić sygnału

	ALTM 1020	ALTM 1225
Częstotliwość pulsowania lasera	5000 Hz	25 000 Hz
Pomiar sygnału	pierwszy/ostatni	pierwszy/ostatni jednocześnie
Kąt skanowania	do 20°	do 20°
Maksymalna wysokość lotu	1000 m	2000 m

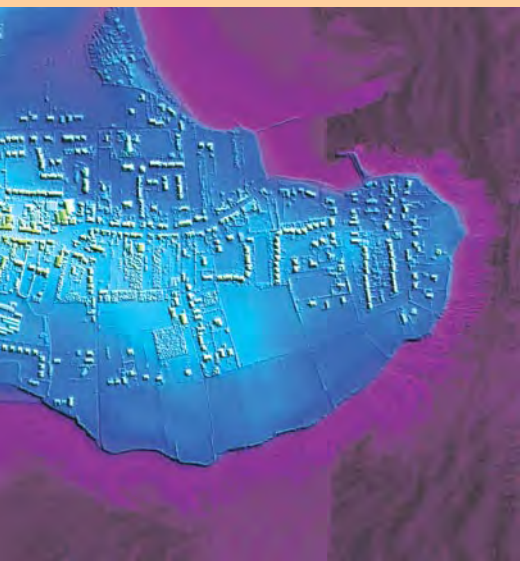
Tab. 1. Dane techniczne systemu

terenu iczym

zyskiwania danych o rzeźbie terenu
atycznym pomiarem DGPS



Rys. 4. DSM wygenerowany dla oceny erozji wybrzeża



Rys. 6. DTM wygenerowany dla oceny erozji wybrzeża pokazujący w kolorach poziom terenu

ca, w różnych warunkach pogodowych. Jedynym wymogiem jest unikanie chmur, mgły i deszczu na linii pomiędzy sensorem a powierzchnią Ziemi. Planowanie misji rozpoczyna się od wprowadzenia współrzędnych granic obszaru objętego pomiarem do odpowiedniego programu komputerowego, np. WWMP (World Wide Mission Planning) czy WinMP autorstwa firmy IGI GmbH. Niezbędne jest również wybranie i zaniwelowanie w pobliżu terenu objętego pomiarem płaszczyzny referencyjnej (np. boisko sportowe czy duży parking) dla wyeliminowania systematycznych błędów wysokości na etapie postprocessingu. W promieniu 50 km od mierzonego obszaru należy wytypować naziemną stację referencyjną GPS. Podstawą dla zaplanowania nalotu są również dane dotyczące ogólnej charakterystyki terenu: topografia, pokrycie terenu (piasek, trawa, zboże itp.) oraz stopień zurbanizowania.

Na tym etapie określane są optymalne parametry ustawienia skanera i trasy lotu, jak chociażby odległość między osiami nalotów przy założonym pokryciu poprzecznym. Operator systemu może przygotować kilka opcji pomiaru, a w czasie lotu wybrać najlepszą. Operator nadzoruje też proces nagrywania danych, a w razie potrzeby koryguje odpowiednie parametry.

● Skanery ALTM

Na rynku funkcjonuje kilka komercyjnych laserowych systemów teledetekcyjnych. Niemiecka firma Hansa Luftbild we współpracy z TopScan korzysta ze skanerów ALTM 1020 i ALTM 1225 (Airborne Laser Terrain Mapper) kanadyjskiej firmy Optech (tab. 1). W instrumentach tych sprawdziła się idea połączenia wysokowydajnego lasera z mechanicznie poruszonym lustrem. Duża częstotliwość pulsowania sygnału, zmienny kąt skanowania i znaczna wysokość lotu w połączeniu z dużą szybkością samolotu umożliwiają optymalizację kosztów. Liczba zarejestrowanych punktów może przekraczać 250 tys. na km², co dopowiada jednemu punktowi na 4 m².

Promień laserowy (przy wysokości lotu 1000 m plamka osiąga na powierzchni terenu średnicę ok. 25 cm) napotyka na swej drodze różne obiekty (np. liście drzew) odbijające część sygnału. Laser ALTM rejestruje te odbicia (rys. 2). W zależności od potrzeb można wy-

Produkty LIDAR

- numeryczny model terenu (DTM – Digital Terrain Model), np. w siatce o boku 5 m;
- model powierzchni Ziemi (DSM – Digital Surface Model);
- model obiektów na powierzchni Ziemi (np. miasta, pokrywy roślinnej);
- widoki perspektywiczne (w postaci siatki przestrzennej lub cieniowanych rzutów);
- przekroje pionowe;
- siatka wysokościowa, mapy warstwowe;
- materiał źródłowy do innych map;
- mapy pochyleń terenu.

brać odpowiednią metodę pomiaru: dla rejestracji powierzchni terenu – pomiar ostatniego sygnału, dla pokrywy roślinnej – pierwszego. W czasie procesu obliczeniowego każdy punkt jest automatycznie klasyfikowany do jednej z tych grup. Pozwala to także na lokalizację słupów i przewodów wysokiego napięcia oraz kolidujących z nimi koron drzew.

W rezultacie z pomiarów lotniczym skanerem laserowym otrzymujemy numeryczny model terenu o 15-centymetrowej dokładności wysokościowej (potwierdzonej niezależnymi pomiarami kontrolnymi) – porównywalnej z precyzją DTM generowanego metodami fotogrametrycznymi.

Laser zamontowany w ALTM jest laserem IV klasy, dlatego z uwagi na bezpieczeństwo oczu ludzi znajdujących się na Ziemi wysokość lotu pomiarowego winna wynosić co najmniej 300 m.

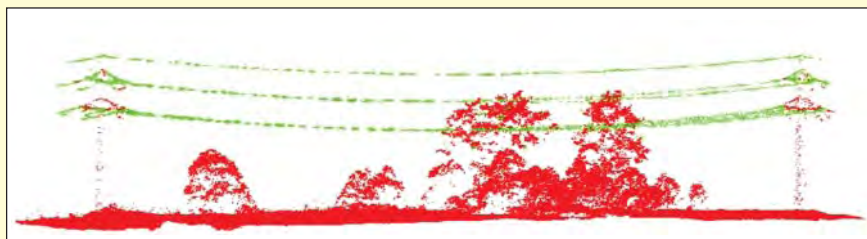
W zależności od ustawienia lasera na 8-milimetrowej taśmie magnetycznej można zarejestrować ok. 12 godzin pomiaru. Jednocześnie w naziemnej stacji GPS zapisywane są dane referencyjne. W rezultacie otrzymujemy od 1 do kilku MB danych (tab. 3).

Parametr	Wartość
Częstotliwość skanowania	27 Hz
Kąt skanowania	± 20°
Szybkość	75 m/s
Wysokość	650 m

Tab. 2. Typowe ustawienie parametrów pomiarowych dla uzyskania siatki punktów oboku 2 m

Odległość między pkt	Liczba punktów na 1 km ²	Dane binarne [MB/km ²]	ASCII [MB/km ²]
5 m	40 000	1,0	~1,0
4 m	62 500	1,5	~1,6
3 m	111 111	2,6	~2,9
2 m	250 000	5,9	~6,6

Tab. 3. Ilość danych w zależności od liczby punktów



Rys. 7. Radarowy obraz linii wysokiego napięcia oraz korony drzew

Odbicie [%]	Rodzaj powierzchni terenu
10-30	piasek
30-50	pokrywa roślinna
50-80	śnieg i lód
1-20	woda (w zależności od zafalowania i amplitudy skanowania)

Tab. 4. Współczynniki odbicia sygnałów

● Opracowanie danych pomiarowych

W przeciwieństwie do klasycznej fotogrametrii orientację sensora w czasie lotu i obliczenia wysokości milionów zeskanowanych punktów uzyskuje się w całkowicie zautomatyzowanym procesie, co znacznie skraca czas produkcji. Przebiega on w czterech etapach:

1. Obliczenie współrzędnych XYZ poprzez połączenie obserwacji ALTM oraz danych GPS/INS.
 2. Klasyfikacja (filtrowanie) „chmury” punktów do grupy leżących na powierzchni terenu oraz pozostałych.
 3. Transformacja i wyrównanie do systemu odniesień przestrzennych.
 4. Sformatowanie produktu wyjściowego: siatka DTM i DSM w formacie ASCII, warstwie w formacie DXF.
- Dane z nieregularnej siatki utworzonej przez odbite sygnały są filtrowane. Błędne eliminowane są za pomocą specjal-

nych algorytmów. Kontrola jakości zawiera analizę liczby odbitych sygnałów, która ulega zmianie w zależności od rodzaju powierzchni terenu. Tabela 4 pokazuje typowe procentowe współczynniki odbicia sygnałów. Innymi czynnikami mającymi na to wpływ są: wysokość, skład i gęstość gruntu oraz kierunek względem sensora.

Penetracja sygnałów laserowych poprzez pokrywę leśną pozwala mierzyć odległości bezpośrednio do powierzchni zalesionego terenu. Współczynnik penetracji określa stosunek liczby sygnałów odbitych od terenu do wszystkich mierzonych sygnałów i zależy od rodzaju lasu (iglasty, liściasty), jego wieku, gęstości pokrywy i pory roku.

W warunkach niemieckich w czasie wykonywania dwóch projektów dotyczących lasów liściastych uzyskano współczynniki penetracji 31% i 56%. Badany jest również rozkład punktów na powierzchni Ziemi, w celu określenia faktycznego pokrycia terenu mierzonymi punktami.

Materiał pomiarowy uzyskany w czasie jednej godziny laserowego skanowania lotniczego wymaga 10-20 godzin opracowywania danych. Praktyka wskazuje, że w czasie jednej godziny można opracować teren o powierzchni 2-5 km². Skanowany obszar można pokazać w ujęciu perspektywicznym oraz na płaszczyźnie. Skompletowane zbiory danych mogą być wyeksportowane do innych środowisk zarówno w formacie binarnym, jak i ASCII, dzięki czemu każde oprogramowanie obsługujące dane w postaci listy punktów o współrzędnych XYZ może być wykorzystane do przetwarzania danych pochodzących z ALTM.

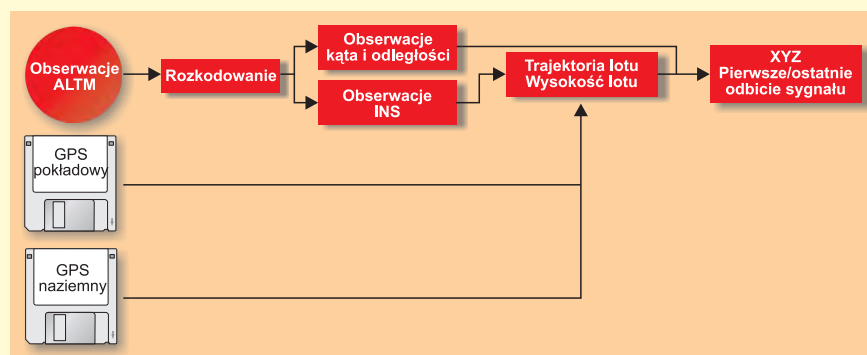
● Skanowanie laserowe w Hansa Luftbild

Hansa Luftbild i TopScan od 1995 r. wykonały w Europie wiele prac z zakresu lotniczego skanowania laserowego. Łączny obszar tych opracowań wynosi ponad 90 000 km², a technologia ta weszła do praktyki pomiarowej. Łączy ona w sobie szereg unikalnych cech:

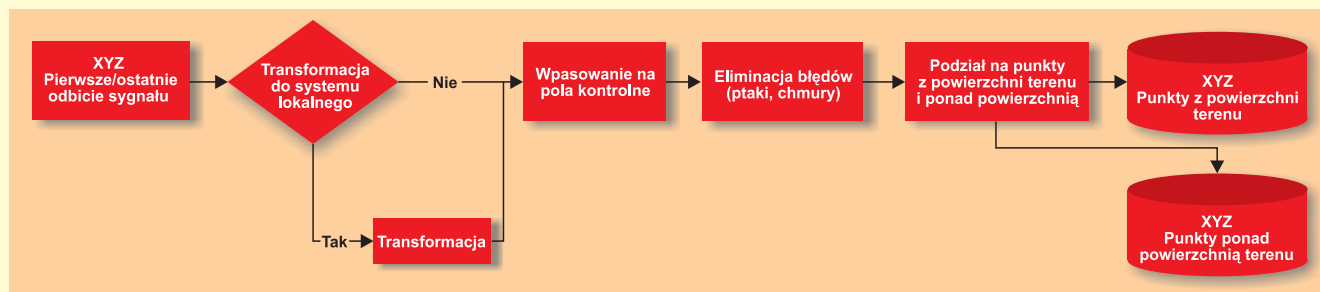
- szybkie pozyskiwanie danych dzięki zastosowaniu pomiarów z samolotu,
- szybkie i zautomatyzowane opracowanie wyników,
- duża gęstość mierzonych punktów,
- wysoka dokładność pomiaru,
- możliwość pomiaru rzeźby terenu w lasach i terenach niedostępnych,
- niższe koszty pozyskania DTM niż w metodach tradycyjnych.

Tarek Zein (Hansa Luftbild),
tłumaczenie Jacek Rusiecki

[skrót i śródtytuły pochodzą od redakcji]



Rys. 8. Uproszczony schemat pomiaru i obliczenia współrzędnych XYZ punktów pomierzonych laserem



Rys. 9. Schemat klasyfikacji (filtrowania) danych