

Artykuł recenzowany: Lotniczy skaning laserowy w urządzaniu lasu

# EKSPERYMENT W OBRĘBIE ZAJMA

**STRESZCZENIE.** Lotniczy skaning laserowy w urządzaniu lasu. Podczas klasycznych prac urządzania lasu, wykonywanych w ramach kolejnej rewizji planów dla Nadleśnictwa Żednia (Regionalna Dyrekcja Lasów Państwowych w Białymstoku), miejscowy Oddział Biura Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej przeprowadził eksperyment polegający na analizie możliwości wsparcia prac z zakresu inwentaryzacji zasobów leśnych i planowania gospodarki leśnej technikami geomatycznymi opartymi na lotniczym skaningu laserowym.

**ABSTRACT.** Airborne laser scanning in forest management. Standard forest management works were carried out within the revision of plans for Żednia Forest District (Regional Board of National Forests in Białystok). The local division of Forest Management and Geodesy Bureau has conducted an experiment to investigate the possibility to support inventory of forest resources and forest management planning with geomatic methods based on airborne laser scanning.

KRZYSZTOF GAJKO,  
MARCIN MYSZKOWSKI,  
MAREK KSEPKO

Artykuł odnosi się głównie do modeli terenu i pokrycia terenu uzyskanych ze skaningu laserowego jako zasadniczych elementów realizacji celów doświadczenia. Obszar eksperymentu wskazano ze względu na znaczne zróżnicowanie typów siedliskowych lasu, klas wieku i gatunków panujących drzewostanu (sosna i świerk) oraz urozmaiconą rzeźbę terenu. Do skanowania wybrano fragment obrębu leśnego Zajma o powierzchni 51 km<sup>2</sup>, położonego w odległości 15 km na wschód od Białegostoku (rys. 1).

W sierpniu 2007 r. wykonano nalot samolotem Cessna 404 ze skanerem laserowym Optech ALTM 3100 na pokładzie. Poprzez odpowiednie dobranie pułapu, prędkości samolotu, wielkości dywergencji wiązki i nakładania się pasów skanowania otrzymano chmurę punktów o średniej gęstości 12 pkt/m<sup>2</sup>. Kameralną kamerą Vexcel UltraCamX wykonano zobrażowanie fotogrametryczne, na podstawie którego opracowano ortofotomapę w kompozycji NIR o rozdzielczości terenowej 15 cm.

Dane ze skanowania poddano wstępnej obróbce polegającej na połączeniu poszczególnych pasów skanowania w jedną chmurę punktów, łącznie z kalibracją na punkty charakterystyczne dla pasów. Korzystając z zapisanych w chmurze punktów informacji o kolejności odbicia wiązki laserowej od szczegółów terenowych, przy użyciu odpowiednich filtrów wygenerowano:

**a) Numeryczny Model Terenu (NMT)** – z wykorzystaniem punktów z jednego lub ostatniego odbicia wiązki lasera,

**b) Numeryczny Model Pokrycia Terenu (NMPT)** – z wykorzystaniem

punktów z jednego lub pierwszego odbicia,

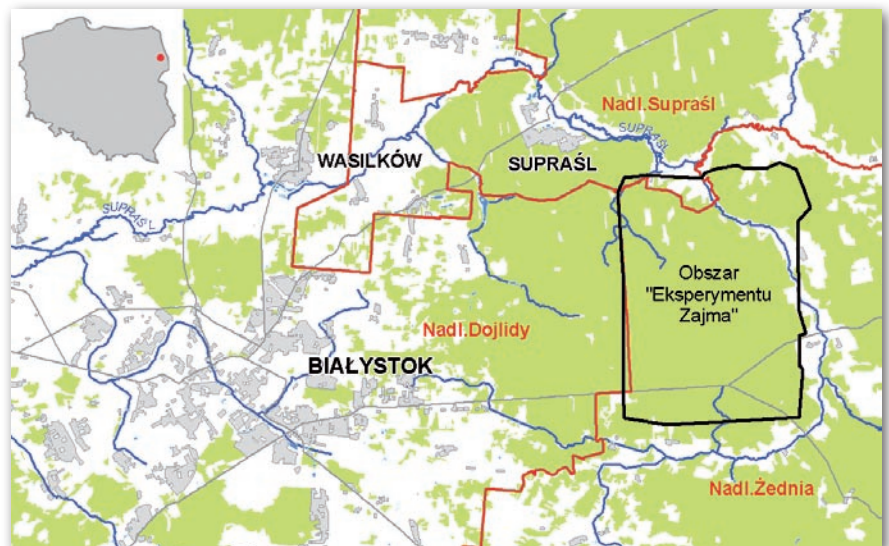
**c) normalizowany Model Pokrycia Terenu** – uzyskany przez odjęcie NMT od NMPT.

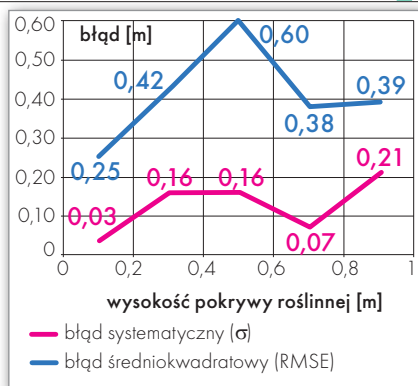
Wykorzystywanie modeli terenu zalecane jest podczas prowadzenia prac inwentaryzacyjno-planistycznych w gospodarce leśnej, szczególnie na obszarach o zróżnicowanym ukształtowaniu terenu i dużych deniwelacjach. Modele o różnych dokładnościach wysokościowych usprawniają wyznaczanie wydzielen siedliskowych, projektowanie procesu pozyskania drewna, a ponadto wspierają projekty małej retencji wodnej i infrastruktury transportowo-turystycznej.

## • POMIARY GEODEZYJNE A NMT Z LOTNICZEGO SKANINGU LASEROWEGO

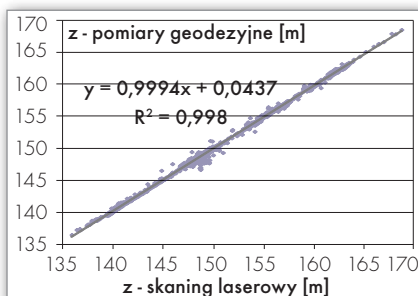
Uwzględniając szerokie spektrum zastosowań modeli terenu w leśnictwie, jedną z pierwszych i najważniejszych analiz było sprawdzenie dokładności wysokościowej NMT ze skanowania laserowego. Do tego celu wykorzystano 2609 geodezyjnych pomiarów sytuacyjno-wysokościowych pochodzących z inwentaryzacji powykonawczych dro-

Rys. 1. Położenie obszaru eksperymentu Zajma

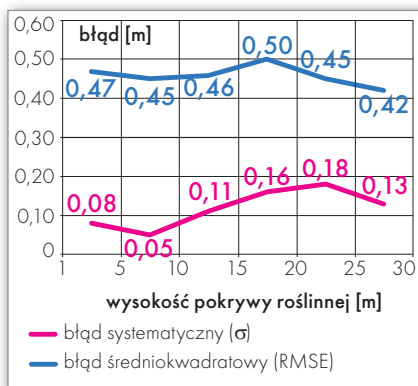




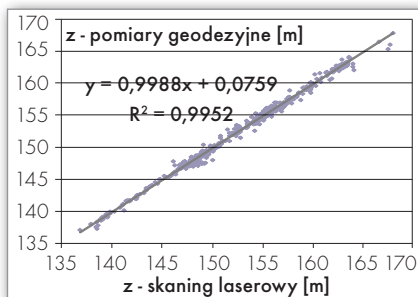
Rys. 2. Błędy wysokości terenu na terenie otwartym w zależności od wysokości pokrywy roślinnej



Rys. 3. Korelacja wysokości z pomiarów geodezyjnych i z modelu terenu pochodzącego ze skaningu laserowego na terenach otwartych



Rys. 4. Błędy wysokości terenu na terenie zalesionym w zależności od wysokości pokrywy roślinnej



Rys. 5. Korelacja wysokości z pomiarów geodezyjnych i z modelu terenu pochodzącego ze skaningu laserowego na terenach pokrytych roślinnością

gi krajowej nr 65 Białystok – Bobrowniki oraz gazociągu przebiegającego przez badany obszar (tereny otwarte – 2040 pomiarów, tereny z roślinnością o wysokości od 1 do 30 m – 569 pomiarów).

Błąd średniokwadratowy (RMSE) wysokości NMT z danych ze skanowania laserowego wyniósł 34 cm. W przypadku terenów otwartych błąd średniokwadratowy wyniósł 29 cm, a na wielkość błędu wpływała wysokość niskiej szaty roślinnej (rys. 2). Roślinność wysoka na terenach leśnych powoduje wyraźne pogorszenie jakości NMT w stosunku do obszarów bez roślinności lub z roślinnością niską (do 1 m wysokości pokrywy roślinnej). Jednak przy błędzie średniokwadratowym na poziomie 47 cm (rys. 4), otrzymujemy dokładności modelowania niespotykane na dużych obszarach zalesionych.

Bardzo wysokie współczynniki korelacji i determinacji ( $r = 0,999$  i  $R^2 = 0,998$  dla terenów otwartych;  $r = 0,997$  i  $R^2 = 0,9952$  dla terenów pokrytych roślinnością) uzyskane w analizie korelacji pomiarów geodezyjnych i ALS potwierdzają dokładność modelu terenu wykonanego tą techniką (rys. 3, 5). Do tego wyniku przyczynił się wysoki współczynnik przenikalności promieni lasera do powierzchni terenu, wynoszący na powierzchni całego obszaru średnio 15%. Przy odpowiednio „gęstym” skanowaniu nawet duże zwarcie koron drzew nie było przeszkodą dla wiązki lasera i znaczna część sygnału dotarła do powierzchni terenu. Przy wysokim zadrzewieniu (0,9) w drzewostanach świerkowych współczynnik ten wynosił 12%, a w drzewostanach brzoźowych – 10%. Należy tutaj wspomnieć, że wartości współczynników przenikania wyliczono dla chmury punktów, która obrazowała drzewostany z pełnym ulistnieniem, w sierpniowej fazie wegetacji. W związku z powyższym na badanym terenie zminimalizowana została powierzchnia, gdzie NMT musiał być interpolowany.

## • RÓŻNICE W NMT Z MAP TOPOGRAFICZNYCH I ALS

Ponieważ metody fotogrametryczne generowania NMT na podstawie stereogramów zdjęć lotniczych nie mają zastosowania w zwartych obszarach leśnych [Boroń A., Borowiec M., Wróbel A., 2004], w dotychczasowych pracach urzędowania lasu najczęściej decydowano się na wykorzystywanie modeli

## SŁOWNICZEK

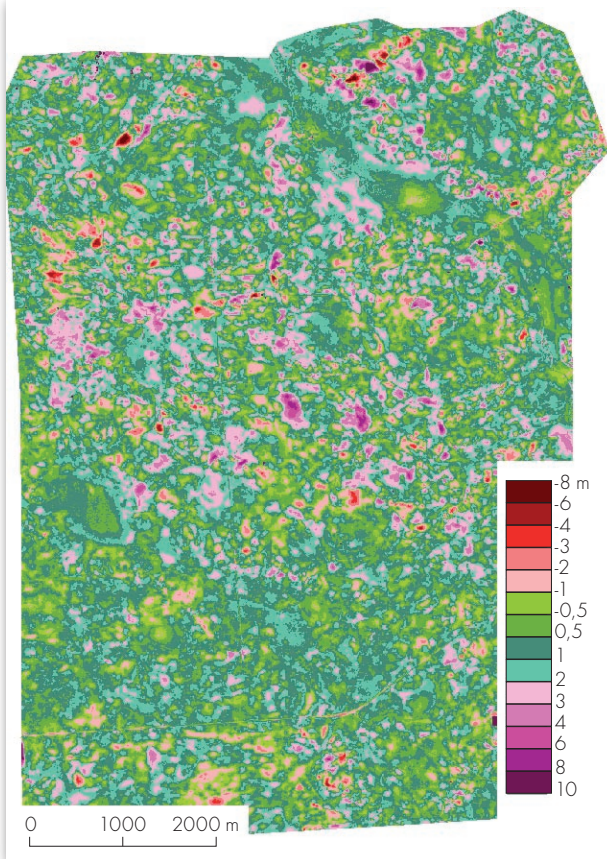
- **ALS** – (Airborne Laser Scanning) lotnicze skanowanie laserowe
- **Gatunek panujący** – gatunek drzewa przodujący pod względem powierzchniowym lub ilościowym na danym obszarze
- **Klasa wieku** – trwająca 20 lat jednostka podziału wieku drzewostanów
- **NMT** – numeryczny model terenu
- **NMPT** – numeryczny model pokrycia terenu
- **Typ siedliskowy lasu** – zgrupowanie zbiorowisk roślinnych o jednakowych warunkach glebowo-klimatycznych i jednako-wej przydatności dla hodowli lasu
- **Zadrzewienie** – współczynnik określający masę drzewną (miąższość) istniejącą rzeczywście w drzewostanie do podanej w tzw. tablicach zasobności, jaką mógłby ten sam drzewostan wykazywać w danym wieku i na danym siedlisku w najlepszych warunkach
- **nNMPT** – normalizowany numeryczny model pokrycia terenu (NMP - NMT)

## PARAMETRY WYKONANIA ALS

- **Wysokość lotu:** 700 m
- **Prędkość:** 120 węzłów (222 km/h)
- **Częstotliwość skanowania:** 100 kHz
- **Kąt odchylenia wiązki od nadiru:** 7°
- **Dywergencja wiązki:** 0,3 mrad
- **Średnica plamki na terenie:** ok. 15 cm
- **Nominalna gęstość chmury punktów:** 5 pkt/m<sup>2</sup> (pojedynczy pas)
- **Wynikowa gęstość chmury punktów:** 12 pkt/m<sup>2</sup> (nałożenie pasów: 55%)
- **Rejestracja** do 4 odbić (każde ma zapisaną intensywność odbicia)

terenu tworzonych metodą kartograficzną z map topograficznych w różnych skalach.

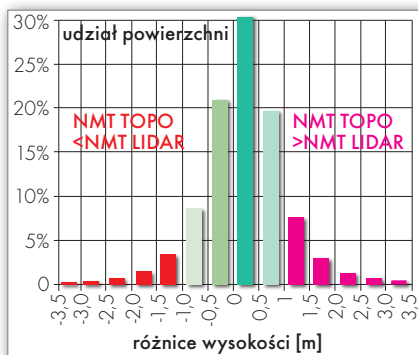
Przeprowadzono zatem analizę różnic między NMT pozyskanym z ALS a NMT pozyskanym metodą kartograficzną z map topograficznych w skali 1:10 000. Dowodzi ona, że wraz ze wzrostem wartości spadków terenu i złożoności rzeźby następuje znaczny wzrost błęd wysokości. Błędy te wynikają głównie z małej szczegółowości modelu warstwicowego pozyskiwanego na drodze wektoryzacji z map topograficznych. Dowodem na to jest zmniejszający się wraz ze wzrostem spadków terenu współczynnik determinacji ( $R^2$ ) w analizie korelacji wysokości z poszczególnymi modelami. Zaobserwowano równomierny rozkład różnic dodatnich i ujemnych – rys. 6, 7.



Rys. 6. Różnice rzędnych terenu TOPO - LIDAR

## • WYZNACZANIE SZCZEGÓŁÓW SYTUACYJNYCH

Modele powstałe na bazie chmury punktów z ALS wykorzystuje się z sukcesem do automatycznego określania położenia drzew na terenach leśnych. Stosuje się w tym przypadku odpowiednio zaimplementowane algorytmy, m.in. znanego w hydrologii modelu „watershed”. Metody te mogą znaleźć zastosowanie w inwentaryzacji geodezyjnej dla dużych kompleksów działek budowlanych i rozległych terenów zieleni. Dodatkowym argumentem potwierdzającym dużą dokładność sytuacyjną i wysokościową wyników skanowania laserowego



Rys. 7. Udział procentowy klas różnic wysokości między modelem terenu pozyskanym z mapy topograficznej w skali 1:10 000 i modelem terenu pochodzącym ze skanowania laserowego

go jest wysoka korelacja ( $r = 0,7613$  i  $R^2 = 0,915$ ) między wysokościami drzew otrzymanymi z chmury punktów a kontrolnymi pomiarami wykonanymi w terenie.

Dane lidarowe są szeroko wykorzystywane do inwentaryzacji i konserwacji linii energetycznych, dróg, rurociągów, wałów przeciwpowodziowych i innych wydłużonych obiektów infrastruktury. Dają możliwość automatycznego, a zatem szybkiego i względnie obiektywnego, spojrzenia na zobrazowany obiekt. Na terenach leśnych i zadrzewionych umożliwiają efektywne zarządzanie szatą roślinną wzdłuż linii energetycznej. Na ich bazie można przeprowadzić analizy ryzyka wystąpienia awarii związanych z nieprawidłowym utrzymaniem zalesienia wzdłuż infrastruktury. Oszacowanie stopnia zagrożenia pasa ochronnego linii

umożliwia zapobieżenie ewentualnym szkodom i problemom technicznym. Podczas klasyfikacji chmury punktów zazwyczaj wyodrębnia się klasę linii energetycznych (rys. 8 przedstawia efekty takiego procesu). Tworząc model roślinności oraz model obrazujący linie energetyczne możemy automatycznie przeanalizować zagrożenie wynikające ze wzrostu roślinności na wydzielonym pasie. W opisywanym doświadczeniu linie

## WNIOSKI

1. Lotniczy skaning laserowy jest szybkim źródłem pozyskania dokładnych modeli terenu i pokrycia terenu na dużych obszarach.
2. Stosowane dotychczas dla terenów zalesionych metody pozyskania NMT dawały znacznie mniej dokładne wyniki niż ALS.
3. Istnieje wiele potencjalnych zastosowań ALS, szczególnie w zakresie inwentaryzacji infrastruktury przestrzennej.

energetyczne zostały poprawnie zidentyfikowane przez algorytmy automatycznej klasyfikacji, co widać na przykładzie w postaci wizualizacji 3D chmury punktów (rys. 8). Należy zaznaczyć, że w typowych projektach ukierunkowanych na sektor energetyczny wykonuje się skaning laserowy o gęstości rzędu 20-30 punktów na  $m^2$  (!), natomiast na potrzeby leśne od kilku do kilkunastu pkt/ $m^2$ .

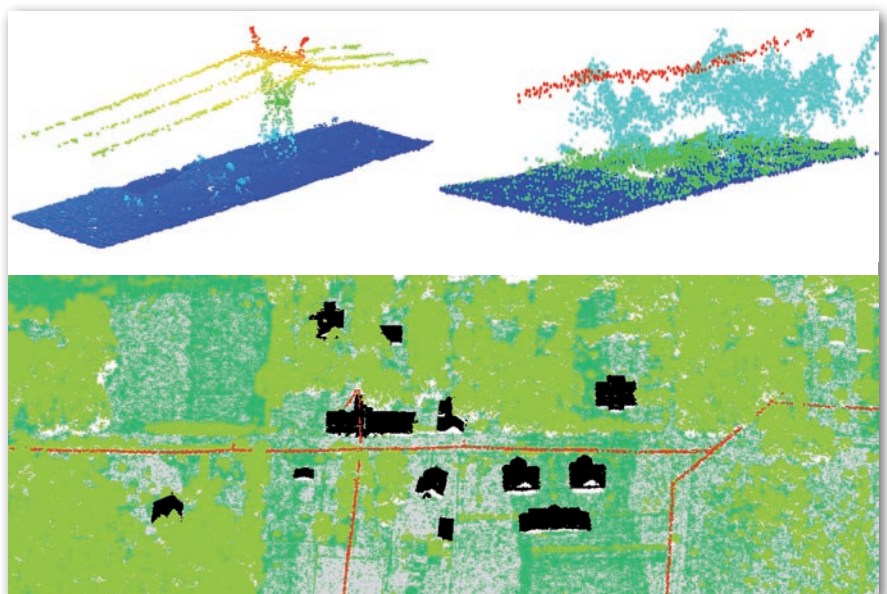
KRZYSZTOF GAJKO,  
MARCIN MYSZKOWSKI,  
MAREK KSEPKO

(BULiGL Oddział w Białymstoku)

RECENZENT: DR HAB. KRZYSZTOF BĘDKOWSKI  
(Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego)

## Literatura:

- Będkowski K., 2008: Sprawozdanie z grantu MNiSW „Zastosowanie lotniczego i naziemnego skaningu laserowego w analizie struktury przestrzennej i funkcjonowania lasów w krajobrazie”, IV Krajowa Konferencja SIP w LP w Rogowie;
- Boroń A., Borowiec M., Wróbel A., 2004: Uwagi o wykonywaniu cyfrowych ortofotomap terenów zalesionych; Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, Vol. 14.



Rys. 8. Infrastruktura elektroenergetyczna zobrazowana poprzez dane ze skanowania laserowego