

## NUMERYCZNY MODEL TERENU OBSZARU ZALESIONEGO Utworzony NA PODSTAWIE SKANOWANIA LASEROWEGO I JEGO DOKŁADNOŚĆ

### DIGITAL TERRAIN MODEL OF FORESTED AREA BASED ON LASER SCANNING AND ITS ACCURACY

**Krzysztof Będkowski, Michał Brach, Krzysztof Stereńczak**

Katedra Urządzania Lasu, Geomatyki i Ekonomiki Leśnictwa, Wydział Leśny  
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

**Słowa kluczowe:** LIDAR, NMT, leśnictwo, dokładność

Keywords: LIDAR, DTM, topographical map, forestry, accuracy

### Wstęp

Większość nowoczesnych metod pomiarowych, które doskonale sprawdzają się na otwartej przestrzeni, napotyka na znaczne ograniczenia zastosowań w środowisku leśnym. Brak widoczności, liczne przeszkody terenowe oraz swego rodzaju brak odczucia kształtu powierzchni terenowej sprawiają, że jakość danych sytuacyjnych i wysokościowych jest na ogół mniejsza, niż na terenach otwartych. Pojawienie się techniki lotniczego skanowania laserowego (LIDAR – *Light Detection and Ranging*) zmieniło zupełnie stan rzeczy. Możliwe jest obecnie pozyskiwanie dużej liczby danych – nawet do kilkudziesięciu pomiarów na metr kwadratowy. Jednak technologia skanowania laserowego może również napotykać na znaczne utrudnienia w lesie. Wiązki promieni lasera są odbijane przez korony, pnie, podrost oraz podszyt, co powoduje, że tylko część z nich dociera do poziomu gruntu.

Wiązki promieni lasera wysyłane z poziomu lotniczego są w stanie przeniknąć nawet stosunkowo zwarte drzewostany. Szacuje się, że do 15–20% ogólnej liczby wyemitowanych sygnałów dociera do dna lasu (Hopkinson i in., 2004). Najwięcej promieni przedostaje się przez przerwy pomiędzy koronami drzew, natomiast na obszarze przysłoniętym przez gęste korony, niekiedy na powierzchni wielkości kilku lub kilkudziesięciu metrów kwadratowych brak jest jakiegokolwiek punktu pomiarowego.

Producenci oprogramowania służącego do interpolowania numerycznych modeli terenu starają się ograniczać wpływ roślinności poprzez wprowadzenie odpowiednich algorytmów filtrujących. Trudno jest wiarygodnie ocenić ich skuteczność bez odniesienia się do odpowiednio dokładnych danych porównawczych. Doświadczenia (Sithole i Vosselman, 2003) pokazują, że nie istnieje idealny algorytm dający zadowalające wyniki w każdych warunkach.

W niniejszej pracy omówiono wyniki analizy dokładności numerycznego modelu terenu obszaru zalesionego interpolowanego na podstawie danych skanowania laserowego. Dane referencyjne uzyskano w wyniku pomiarów terenowych.

## Metodyka badań

Badania (Będkowski i in., 2008) przeprowadzono w Uroczysku Głuchów, należącym do Leśnego Zakładu Doświadczalnego Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie. Lotnicze skanowanie laserowe wykonano w maju 2007 roku. Zastosowano system Falcon II firmy TopoSys z Niemiec. Obszar leśny pokryty skanowaniem ma powierzchnię ok. 1000 ha. Charakterystykę pozyskanych danych przedstawiono w poniższej tabeli. Zastosowane parametry skanowania pozwalały na uzyskanie kilkunastu punktów odbić na każdym metrze kwadratowym powierzchni płaskiej, niepokrytej lasem.

Numeryczny model terenu interpolowano w siatce  $1\text{ m} \times 1\text{ m}$  za pomocą oprogramowania TreesVis. Wykorzystano tzw. ostatnie odbicie (*last echo*) promieni lasera. Zastosowano algorytm wykorzystujący wartości najniższej położonych punktów (Weinacker i in., 2004). Ich selekcja dokonywana jest na podstawie wcześniej wygenerowanej zgeneralizowanej płaszczyzny, będącej uproszonym NMT. Po filtracji, tylko najniższe położone punkty LIDAR-owe, wykorzystuje się do interpolacji finalnego modelu powierzchni.

Danymi referencyjnymi były rzędne 79 punktów, będących środkami części stałych powierzchni badawczych, rozmieszczonych na obszarze uroczyska (rys. 1). Powierzchnie te znajdowały się w drzewostanach mieszanych sosnowo-dębowych, najczęściej z przewagą sosny, w wieku powyżej 30 lat. Pomiaru terenowe wykonano za pomocą tachimetru elektronicznego. Wyniki niwelacji trygonometrycznej przetworzono w programie WinKalk.

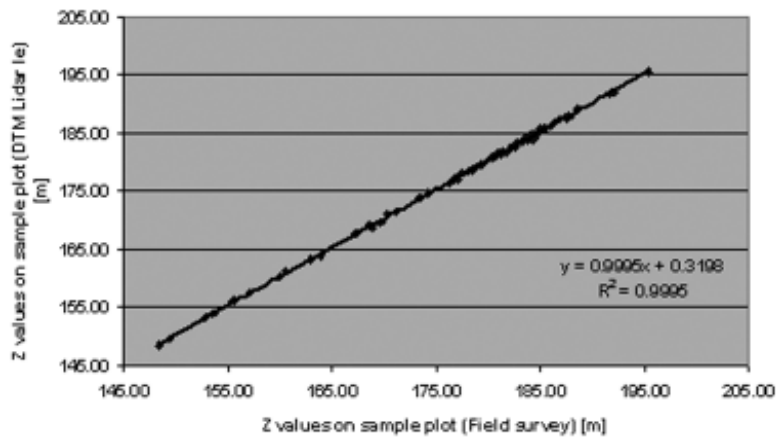
Pomiar geodezyjny oparty był o poprawnie wyznaczone punkty referencyjne usytuowane na zewnątrz kompleksu w terenie otwartym (rys. 2). Do pomiaru współrzędnych użyto czterech dwuczęstotliwościowych odbiorników GPS, serii 4700, firmy Trimble. Statyczna metoda pomiaru, czas obserwacji nie krótszy niż 15 minut oraz odległość pomiędzy punktami odniesienia i punktami wyznaczanymi nie przekraczająca 25 km zagwarantowały, że błędy wyznaczenia współrzędnych X, Y, Z były mniejsze niż  $\pm 2\text{ cm}$ . Wyniki te uzyskano na podstawie wyrównania obserwacji nawiązanych do trzech punktów sieci geodezyjnej pierwszego rzędu (POLREF), na których rejestrowano dane w tym samym czasie. Taka metoda pomiaru pozwoliła zatem na wyrażenie wyników pomiarów w państwowym układzie współrzędnych oraz prawidłowe wyrównanie obserwacji. W wyniku opracowania obserwacji GPS, otrzymano zbiór współrzędnych płaskich w układach EU-REF-89, PUWG 1992, PUWG 1965

**Tabela.** Parametry systemu Falcon II, wraz z charakterystyką uzyskanych z firmy TopoSys danych (Będkowski i in., 2008)

Typ sensora	Pulsacyjno-włóknisty
Długość fali	1560 nm
Częstotliwość pulsów	5 nsec
Częstotliwość skanowania	83 kHz
Zakres skanowania	14,3°
Rejestrowane odbicia	pierwsze (FE) i ostatnie (LE) odbicie, ponad 50% pokrycie poprzeczne pomiędzy sąsiadującymi szeregami
Wysokość lotu	700 m
Wielkość plamki	0,7 m

oraz wysokości w układzie Kronsztad'60 i 86. W następnym etapie wewnątrz kompleksu leśnego założono sieć poligonową opartą na wcześniej pomierzonych punktach referencyjnych. Wyrównanie sieci przeprowadzono metodą pośredniczącą (program WinKalk). Użytkano średni błąd położenia punktu  $m_p = \pm 0,09$  m. Wysokość wyznaczono z dokładnością  $d_H = \pm 0,4$  m.

Porównanie rzędnych terenu ( $Z$ ) wykonano w 79 punktach reprezentujących środki powierzchni doświadczalnych. Zestawiono dane pomiarowe z pomiarów geodezyjnych (*Field\_survey*) oraz lotniczego skanowania laserowego (*DTM\_Lidar*). Korelacja rzędnych uzyskanych z numerycznego modelu terenu oraz pomiarów geodezyjnych (rys. 3) jest bardzo wysoka – współczynnik determinacji wynosi  $R^2 = 0,9995$ .



Rys. 3. Liniowa zależność rzędnych ( $Z$ ) z pomiaru geodezyjnego i z modelu terenu

W celu porównania wyników obliczono błąd średniokwadratowy (RMSE) oraz wartość średnią różnicy pomiędzy rzędnymi  $Z$  (*Bias*), którą interpretowano jako błąd systematyczny. Jako wartości prawdziwe przyjęto wyniki pomiaru geodezyjnego.

Uzyskano następujące wyniki:

1. Wartość średnia różnicy rzędnych (błąd systematyczny)

$$Bias = \frac{\sum_{i=1}^n (Z_{DTM\_Lidar} - Z_{Field\_survey})}{n} = +0.23m$$

2. Błąd średniokwadratowy

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [(Z_{DTM\_Lidar} - Bias) - Z_{Field\_survey}]^2}{n}} = \pm 0.22m$$

gdzie:

$n$  – liczba obserwacji (79),

$Z_{field\_survey}$  – rzędna terenu ustalona w pomiarze terenowym,

$Z_{DTM\_Lidar}$  – rzędna z numerycznego modelu terenu (LIDAR).

## Wnioski

Uzyskane wyniki wskazują na niedużą rozbieżność między rzędnymi terenu określonymi w wyniku terenowego pomiaru geodezyjnego oraz na podstawie danych skanowania laserowego. Błąd systematyczny dla rzędnej  $Z$ , wynoszący +23 cm, może być spowodowany trudnością przejścia wiązki promieni lasera przez gęsty podszyt i roślinność krzewiastą znajdujące się tuż nad gruntem. W trakcie pomiarów terenowych niejednokrotnie obserwowano np., że tyczka z przyzmatem wykorzystywanym w pomiarach tachimetrycznych była niewidoczna do wysokości około 50 cm od poziomu gruntu.

Wykonane badania wykazały dużą przydatność danych skanowania laserowego oraz skuteczność algorytmu interpolacyjnego programu TreesVis do budowy numerycznych modeli terenu obszarów leśnych. Modele te mogą być wykorzystywane do wyznaczania charakterystyk drzewostanów – wysokości pojedynczych drzew i przeciętnej wysokości całych drzewostanów.

Badania dotyczyły drzewostanów w wieku 30 lat i starszych, które nie miały pełnego zwarcia. Ponadto dane skanowania laserowego pozyskano na początku sezonu wegetacyjnego. Niezbędne jest zatem sprawdzenie poprawności modeli terenu interpolowanych dla drzewostanów młodszych, z wykorzystaniem danych uzyskanych w pełni sezonu wegetacyjnego, ze szczególnym uwzględnieniem gatunków iglastych.

## Literatura

- Będkowski K., Adamczyk J., Brach M., Gzowski P., Karaszkievicz W., Krawczyk A., Marmol U., Mikrut S., Miścicki S., Morańda M., Olenderk H., Stereńczak K., Stępniewski P., Walo J., Zawadka R., 2008: Raport końcowy projektu badawczego 2 P06L 02229 Zastosowanie lotniczego i naziemnego skaningu laserowego w analizie struktury przestrzennej i funkcjonowania lasów w krajobrazie. Katedra Urządzenia Lasu, Geomatyki i Ekonomiki Leśnictwa, SGGW w Warszawie.
- Hopkinson C., Lim K., Chasmer L.E., Treitz P., Creed I.F., Gynan C., 2004: Wetland grass to plantation forest – estimating vegetation height from the standard deviation of LIDAR frequency distributions. *Laser-Scanners for Forest and Landscape Assessment*, WG VIII/2. Freiburg, Niemcy.
- Sithole G., Vosselman G., 2003: Comparison of filtering algorithms. WG III/3 Workshop „3-D reconstruction from airborne laserscanner and InSAR data”. Drezno, Niemcy.
- Weinacker H., Koch B., Weinacker R., 2004: TREESVIS: A Software System for Simultaneous ED-Real-Time Visualisation of DTM, DSM, Laser Raw Data, Multispectral Data, Simple Tree and Building Models. Proceedings of the ISPRS working group VIII/2, Freiburg, 3-6 2004. ISSN 1682-1750: 90-95.

W artykule wykorzystano dane uzyskane w pracy finansowanej ze środków na naukę w latach 2005–2007 jako projekt badawczy 2 P06L 02229 „Zastosowanie lotniczego i naziemnego skaningu laserowego w analizie struktury przestrzennej i funkcjonowania lasów w krajobrazie”.

NMT generowano za pomocą programu TreesVis udostępnionego przez Laboratorium Teledetekcji i Systemów Informacji Przestrzennej (FeLIS) Uniwersytetu w Freiburgu, Niemcy.

## Abstract

*This paper deals with the accuracy of digital terrain model created for forested area using LIDAR data. The DTM values were calculated in a  $1\text{ m} \times 1\text{ m}$  grid based on laser pulses last echoes. TreesVis software developed in FeLIS Laboratory (University Freiburg, Germany) was used. Reference data,*

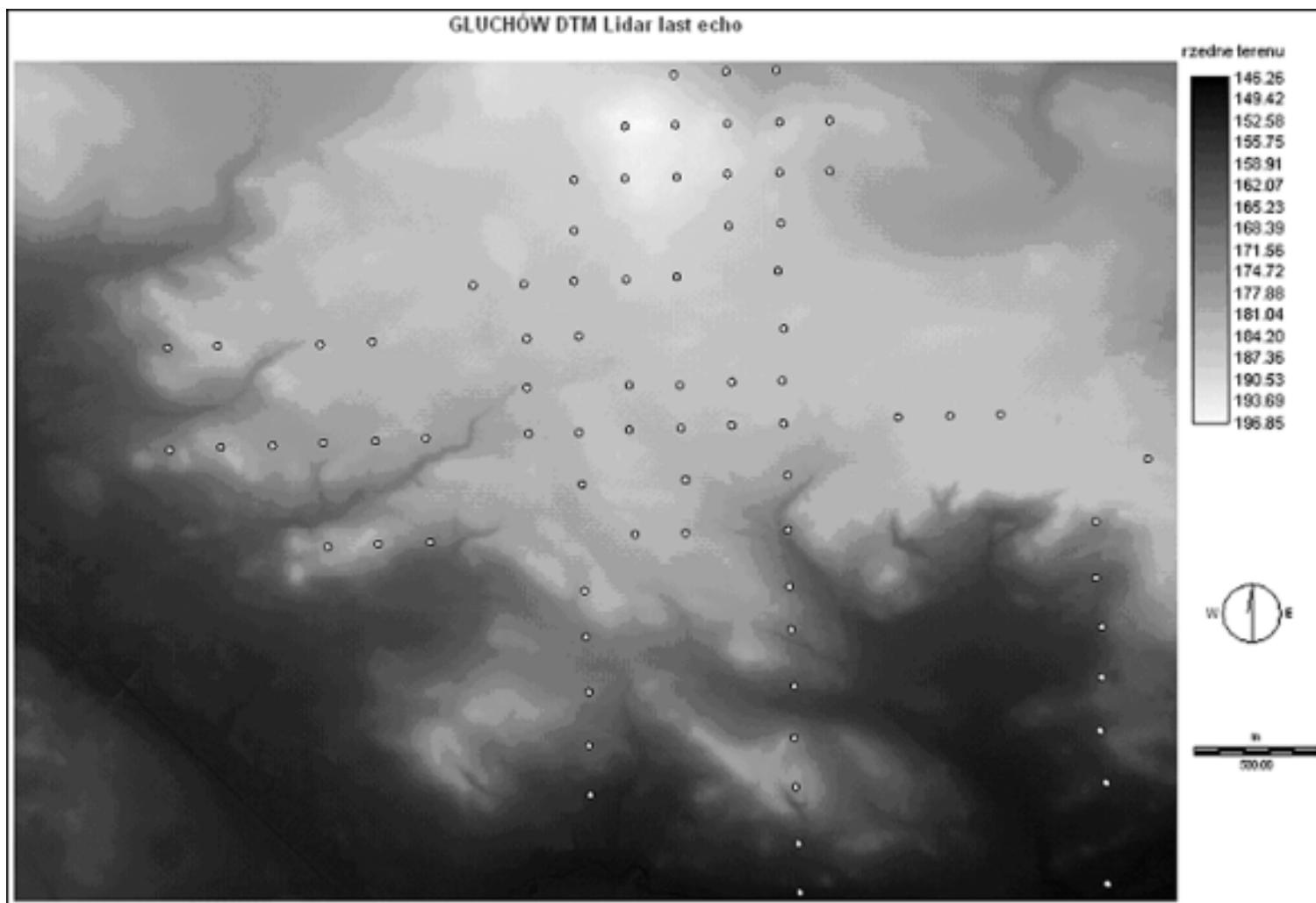
---

*i.e. true terrain Z-values, were calculated based on accurate surveying measurements. 79 pairs of points' heights were compared in total. The accuracy of LIDAR DTM was satisfactory (see equations for RMSE and Bias in the text).*

dr hab. inż. Krzysztof Będkowski  
Krzysztof.Bedkowski@wl.sggw.pl  
tel. +48 22 593 82 22

dr inż. Michał Brach  
Michal.Brach@wl.sggw.pl  
tel. +48 22 593 82 13

mgr inż. Krzysztof Stereńczak  
Krzysztof.Sterenczak@wl.sggw.pl  
tel.+48 22 593 82 17



**Rys. 1.** Numeryczny model terenu uroczyska. Zaznaczono położenie punktów kontrolnych

**Rys. 2.**  
Rozmieszczenie  
głównych  
ciągów  
poligonowych  
oraz  
powierzchni  
doświadczalnych

