

**ODWZOROWANIE WYBRANYCH OBIEKTÓW KRAJOBRAZU W DANYCH  
LOTNICZEGO SKANOWANIA LASEROWEGO**

**REPRESENTATION OF SELECTED LANDSCAPE OBJECTS IN AIRBORNE  
LASER SCANNING DATA**

**Joanna Adamczyk, Krzysztof Będkowski**

SGGW w Warszawie, Katedra Urządzania Lasu, Geomatyki i Ekonomiki Leśnictwa

**SŁOWA KLUCZOWE:** lotnicze skanowanie laserowe, środowisko, roślinność, odwzorowanie

**STRESZCZENIE:** Podczas budowy numerycznych modeli terenu (NMT) na podstawie danych lotniczego skanowania laserowego (chmur punktów) dąży się do usunięcia punktów, które dotyczą odbić od obiektów znajdujących się na powierzchni – budynków i budowli oraz roślinności. Istnieją jednakże dziedziny gospodarki oraz nauki, które są zainteresowane uzyskaniem danych, możliwie wiernie opisujących budowę pokrywy roślinnej. Dlatego też wydaje się, że doskonalenie metodyki budowy numerycznego modelu pokrycia terenu wymaga bardziej wnikliwego podejścia, niż tylko ustalenie którejś przebiega górna granica (powierzchnia) opisująca kształt obiektu. Ze względu na przestrzenną zmienność pokrycia terenu, nie można przyjmować jednorodnych reguł przetwarzania danych dla całego obszaru, dla którego wykonano skanowanie laserowe. Istotnym jest dokonanie dokładnego rozpoznania przestrzennej dystrybucji różnych obiektów na badanym terenie oraz opracowanie charakterystyk opisujących sposób odwzorowania tych obiektów w danych skanowania laserowego. Informacje te pozwolą na zastosowanie zmiennych przestrzennie reguł przetwarzania chmur punktów skanowania laserowego – zarówno przy generowaniu NMT, jak i powierzchni opisujących budowę roślinności. W pracy przedstawiono wstępne wyniki badań nad przestrzenną dystrybucją chmury punktów skanowania laserowego różnych elementów krajobrazu, w dwóch fazach sezonu wegetacyjnego – wczesną wiosną oraz latem, z uwzględnieniem podziału rejestrowanych impulsów na pierwsze i ostatnie echo. Dystrybucję przestrzenną chmur punktów pokazano w formie graficznej. Uzyskane wyniki skłaniają do podjęcia dyskusji nad niektórymi dotychczas wyrażanymi opiniami.

## **1. WSTĘP**

Skanowanie laserowe z pułapu lotniczego uważane jest współcześnie za najlepsze źródło danych dotyczących ukształtowania terenu oraz struktury przestrzennej różnorodnych obiektów środowiska. Wyniki skanowania, w swojej pierwotnej postaci, zapisywane są jako chmury pojedynczych punktów. Na ich podstawie interpolowane są numeryczne powierzchnie – terenu (NMT) oraz pokrycia terenu (NMPT). Podczas budowy numerycznych modeli terenu zawsze występuje potrzeba skutecznego usunięcia ze zbioru tych danych, które dotyczą obiektów znajdujących się na powierzchni – budynków i budowli oraz roślinności (Kraus *et al.* 1997, Kraus *et al.* 1998, Pfeifer *et al.* 2004). Istnieją

także dziedziny gospodarki oraz nauki, które są zainteresowane uzyskaniem danych, możliwie wiernie opisujących strukturę pokrywy roślinnej (Wagner *et al.* 2004). W leśnictwie np. bardzo istotne jest otrzymanie informacji o wysokości pojedynczych drzew i średniej wysokości drzewostanu, gdyż wielkość ta uwzględniana jest w modelach wykorzystywanych przy określaniu zasobności lasów.

Na podstawie osiągnięć teledetekcji można stwierdzić, że:

- Obiekty środowiska przyrodniczego (krajobrazu), podobne do siebie pod względem różnorodnych cech strukturalnych i jakościowych, w podobny sposób odwzorowują się w różnorodnych systemach teledetekcyjnych.
- Cechy sposobu odwzorowania, ze względu na zmienność warunków rejestracji, zmienność sezonową roślinności, itp., są bardzo często związane z danym zestawem danych, nie można więc automatycznie zakładać ich wiernej powtarzalności w różnych projektach.
- Z dużym prawdopodobieństwem można przyjąć, że reguły te dotyczą także sposobu rejestracji obiektów krajobrazu za pomocą techniki lotniczego skanowania laserowego.

Ze względu na przestrzenną zmienność pokrycia terenu, oczywistym wydaje się wniosek, iż nie można przyjmować jednorodnych reguł przetwarzania danych dla całego obszaru, dla którego wykonano skanowanie laserowe. Uprawnione będzie wobec tego postępowanie polegające na dokładnym rozpoznaniu przestrzennej dystrybucji różnych klas obiektów na badanym terenie oraz opracowaniu charakterystyk opisujących sposób odwzorowania tych obiektów w danych skanowania laserowego. Dane te pozwolą na zastosowanie zmiennych przestrzennie reguł przetwarzania chmur punktów skanowania laserowego – zarówno przy generowaniu NMT, jak i powierzchni opisujących pionową budowę roślinności.

Na sposób odwzorowania roślinności wpływ mają różnorodne jej cechy, wzajemnie ze sobą powiązane, jak: gatunek, udział i sposób mieszania gatunków, gęstość pokrywy oraz jej zmienność pozioma i pionowa, faza rozwoju, wysokość. Szczególne znaczenie ma gęstość pokrywy roślinnej, powoduje bowiem, że tylko pewna część impulsów laserowych dociera do powierzchni terenu i przynosi informacje o jej ukształtowaniu. Powszechnie przyjmuje się, że wpływ roślinności w projektach związanych z budową NMT można usunąć lub zminimalizować poprzez wykonanie skanowania w odpowiedniej porze sezonu wegetacyjnego (zimą), przyjęcie w analizach impulsów pochodzących z ostatnich odbić (*last echo*), zastosowanie filtrów i in. Podobnie, przy generowaniu warstw opisujących pokrywę roślinną, niezbędne jest uwzględnienie jej właściwości – zupełnie inna jest pokrywa tworzona przez rośliny zielone (trawy, zboża), od pokrywy warstwy krzewów i drzew. Dodatkowym czynnikiem, który należy uwzględnić, jest obecność punktów, których położenie jest błędne. Punkty takie mogą mieć rzędne zbyt niskie (leżą zbyt głęboko, poniżej powierzchni terenu) – powstające w wyniku wielokrotnych odbić impulsu laserowego, lub zbyt wysokie (odbicia od ptaków).

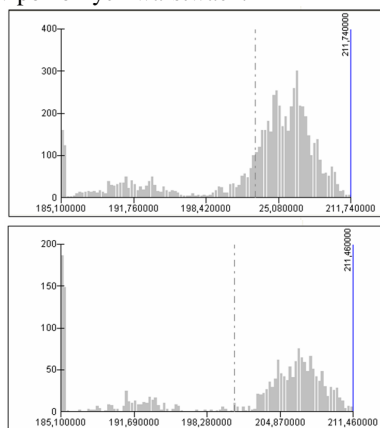
W niniejszej pracy przedstawiliśmy próbę zdefiniowania cech przestrzennej (3D) dystrybucji punktów pochodzących z lotniczego skanowania laserowego różnych obiektów krajobrazu. Uzyskaliśmy wyniki, które skłaniają do podjęcia dyskusji nad niektórymi dotychczas wyrażanymi opiniami.

## 2. METODYKA BADAŃ

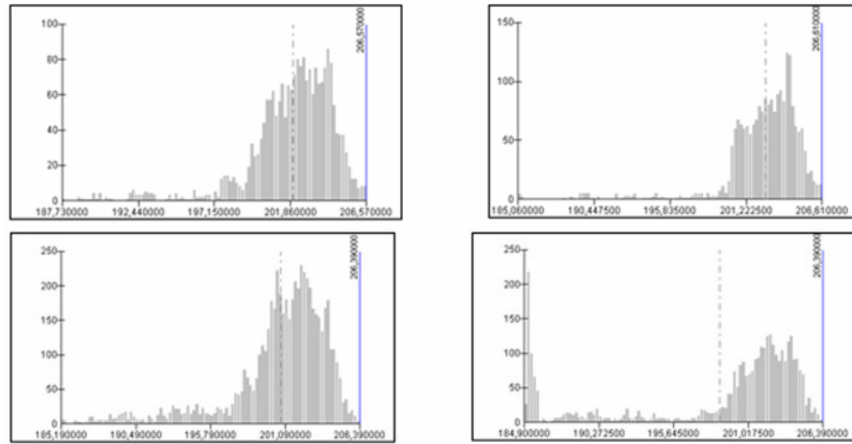
Badania dotyczą elementów krajobrazu znajdujących się na naszym poligonie doświadczalnym (ok. 50 km<sup>2</sup>) położonym na granicy powiatów skierniewickiego i tomaszowskiego w województwie łódzkim. Centralną część tego obszaru zajmuje uroczysko leśne Głuchów (1 tys. ha) z różnorodnymi drzewostanami – od ubogich i suchych borów sosnowych, poprzez lasy mieszane, po olsy i łągi w dolinie rzeki Rawki. Pozostała część poligonu użytkowana jest głównie rolniczo (pola uprawne, łąki, pastwiska, sady, uprawy krzewów jagodowych). Ukształtowanie terenu, szczególnie w południowej części poligonu jest zróżnicowane, a sieć hydrograficzna rozwinięta. Znajdują się tutaj także rozległe stawy oraz małe kompleksy leśne, występujące na glebach piaszczystych oraz wzdłuż cieków wodnych. Analizą objęliśmy następujące kategorie pokrycia terenu: (1) lasy (z uwzględnieniem zróżnicowania gatunkowego oraz wysokości drzewostanu), (2) uprawy rolne (pola bez pokrywy roślinnej, pola obsiane zbożami, łąki, uprawy krzewów jagodowych, sady), (3) użytki ekologiczne i obszary naturalnej sukcesji roślinności, (4) wody otwarte i roślinność, (5) zabudowa.

Lotnicze skanowanie laserowe wykonano w 2007 r. dwukrotnie – 2 i 3 maja, tuż po rozpoczęciu sezonu wegetacyjnego oraz 30 sierpnia. Zastosowano skaner FALCON II. Poszczególne pasy skanowania miały pokrycie poprzeczne rzędu 60%, a wynikowa gęstość skanowania wynosiła od 4 ÷ 20 punktów na 1 m<sup>2</sup>.

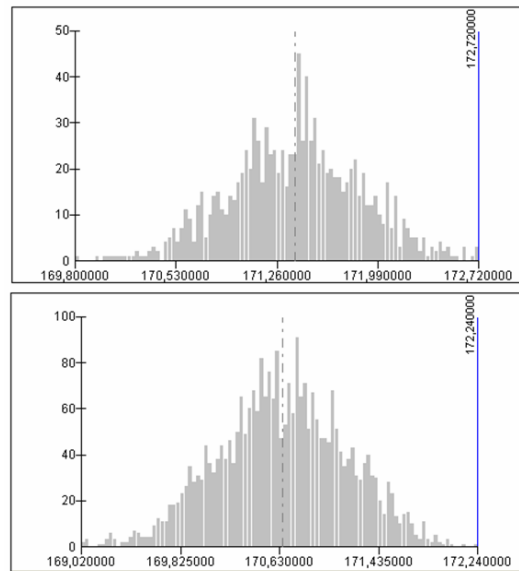
Analizowaliśmy przestrzenny rozkład chmur punktów pierwszego i ostatniego odbicia impulsu laserowego (*first, last echo*) o długości fali  $\lambda = 1560$  nm dla wymienionych wyżej obiektów środowiska, w obydwu terminach rejestracji. Koliste powierzchnie próbne miały powierzchnię 5 arów (R = 12.61 m). Interesowało nas, jak dalece struktura budowy pionowej wpływa na dystrybucję punktów, jakie są relacje między pierwszym i ostatnim echem, czy i jakie są różnice wyników uzyskiwanych w różnych fazach sezonu wegetacyjnego. Wybrane wyniki, reprezentatywne dla poszczególnych kategorii obiektów, przedstawiliśmy na rysunkach (rys. 1÷8), zawierających histogramy przestrzennej dystrybucji chmur punktów w poziomych warstwach.



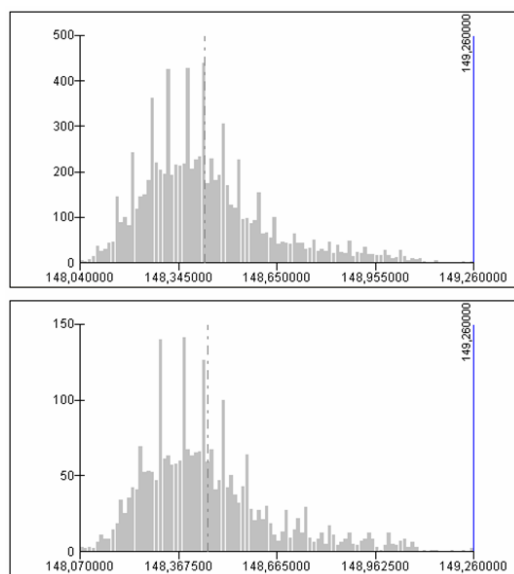
Rys. 1. Las mieszany z przewagą dębu, skanowanie letnie: *first echo* – histogram u góry; *last echo* - histogram u dołu



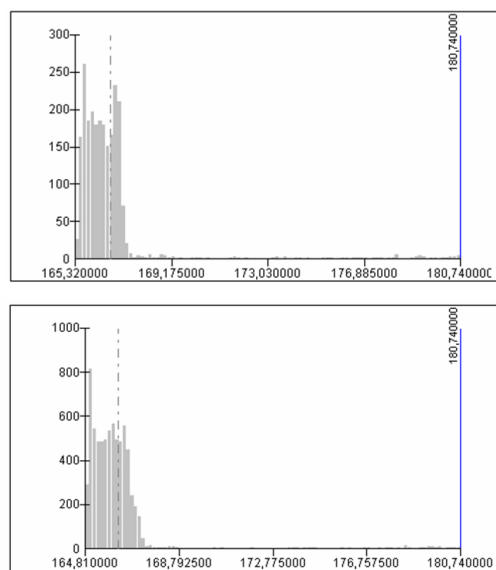
Rys. 2. Bór sosnowy, skanowanie letnie (para rys. u góry) i wiosenne; *first echo* - histogramy po lewej stronie, *last echo* - histogramy po prawej stronie



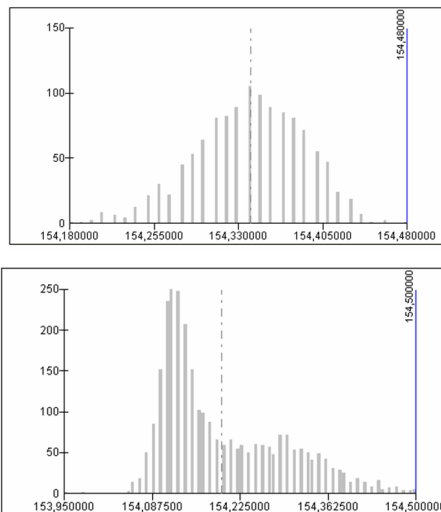
Rys. 3. Młodnik sosnowy – lato, *last echo* - histogram u góry, wiosna, *last echo* - histogram u dołu



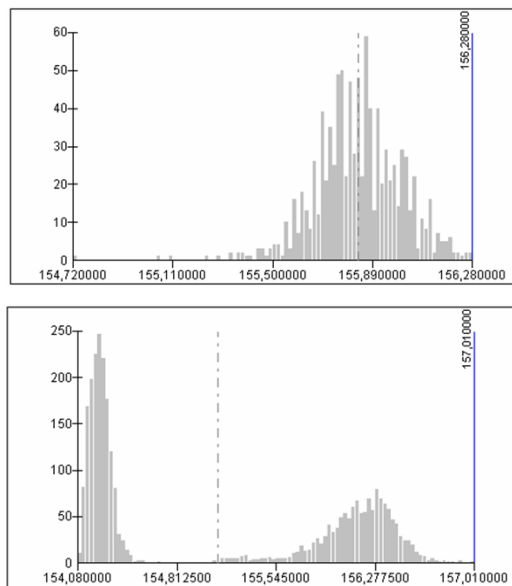
Rys. 4. Uprawy krzewów jagodowych wiosną *first echo* - histogram u góry, *last echo* - histogram u dołu



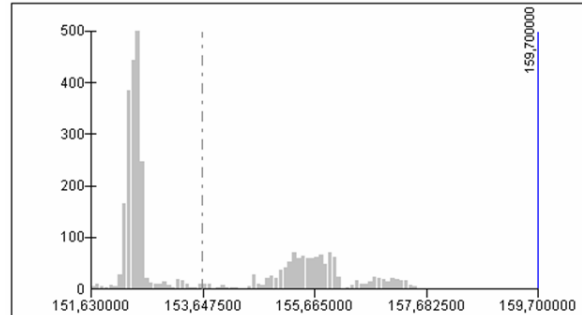
Rys. 5. Niezłytek pokryty głównie niską roślinnością zielną – *first echo*, lato - histogram u góry, *first echo*, wiosna - histogram u dołu



Rys. 6. Powierzchnia stawu: wypełnionego wodą – *first echo*, wiosna – u góry, *first echo*, lato – histogram u dołu



Rys. 7. Roślinność przybrzeżna (trzciny) *first echo*, wiosna – histogram u góry, *first echo*, lato - histogram u dołu



Rys. 8. Zabudowa, *first echo*, lato = *first echo*, wiosna – zgodność obydwu warstw stanowi potwierdzenie poprawności kalibracji przestrzennej chmur punktów

### 3. WNIOSKI

Z przeprowadzonych badań wynika, że różne obiekty środowiska przyrodniczego są w specyficzny sposób odwzorowane w danych skanowania laserowego. Potwierdzono różnice między wynikami uzyskiwanymi w dwóch fazach sezonu wegetacyjnego – wiosennej i letniej. Różnice te, polegające na „głębszej” penetracji w okresie wiosennym, można tłumaczyć zmianami stanu (ilości) aparatu asymilacyjnego roślinności drzewiastej (rys. 2, 3) oraz wysokości roślinności zielonej (rys. 5, 6, 7).

W odmienny sposób układają się chmury punktów utworzone przez pierwsze i ostatnie echa (odbicia) sygnału od obiektów o złożonej strukturze przestrzennej (pionowej). U obiektów tych pierwsze echo, jak należało się spodziewać, pochodzi z odbić w wyższych partiach, a ostatnie echo – z niżej położonych. Ostatnie echo także w większym stopniu dociera do poziomu terenu (rys. 1, 2, 4). Zauważyliśmy charakterystyczną różnicę odbić pierwszego i ostatniego echa w przypadku drzewostanów posiadających rozwiniętą warstwę koron, a poniżej stosunkowo wolną strefą, wypełnioną tylko przez pnie drzew (aż do warstwy podszytu). W takich drzewostanach widoczne jest zwężenie szerokości strefy odbić ostatniego echa od warstwy koron, jej przesunięcie w górę oraz wyraźne „podcięcie” od dołu (rys. 1, 2). Wynik wskazuje na możliwość uzyskiwania informacji o przebiegu dolnej granicy warstwy koron.

Obserwowany sposób odwzorowania stawów – pokrytych roślinnością przybrzeżną (rys. 6) oraz z odkrytym lustrem wody (rys. 7) – wskazuje, że kształt chmury punktów uzależniony jest od odbić zarówno od lustra wody, jak i roślinności. Zgodność chmur punktów dotyczących zabudowy (rys. 8) świadczy o poprawnej kalibracji danych z dwóch faz sezonu wegetacyjnego.

Wyniki badań wykazały, że zarówno budowa pionowa roślinności, jak i stopień jej rozwoju w sezonie wegetacyjnym znajdują odzwierciedlenie w danych skanowania laserowego. Fakt ten powinien być uwzględniany przy konstruowaniu narzędzi (filtrów) stosowanych do oddzielania od siebie chmur punktów dotyczących terenu oraz roślinności.

Wyjaśnienia wymaga sposób powstawania chmur punktów dotyczących wody (otwartej i pokrytej roślinnością) oraz relacji odbić pierwszego i ostatniego echa w drzewostanach z rozwiniętą warstwą koron. Konieczne jest także dokładne sprawdzenie, jak w danych skanowania laserowego odwzorowywana jest wysokość drzew i drzewostanów. Zaobserwowana duża rozdzielczość przestrzenna skanera, wyrażająca się w wyraźnej reakcji na wzrost roślinności zielnej, sugeruje, że możliwe jest osiągnięcie wysokiej dokładności określania tego parametru także u roślinności drzewiastej.

#### 4. LITERATURA

Kraus K., Hynst E., Belada P., Reiter T., 1997. Topographische Daten in bewaldeten Gebieten - Ein Pilotprojekt mit Laser-Scanner-Daten. *Österreichische Zeitschrift für Vermessung & Geoinformation* 3, s. 174-181.

Kraus K., Pfeifer N., 1998. Determination of terrain models in wooded areas with airborne laser scanner data. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* 53(4), s. 193-203.

Pfeifer N., Gorte B., Elberink S.O., 2004. Influences of Vegetation on Laser Altimetry – Analysis and Correction Approaches. *Proc. of the ISPRS working group VII/2 “Laser-Scanners for Forest and Landscape Assessment”, Freiburg, Germany. Int. Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XXXVI, part 8/W2, s. 283-287.*

Wagner W., Eberhöfer C., Hollaus M., Summer G., 2004. Robust Filtering of Airborne Laser Scanner Data for Vegetation Analysis. *Proc. of the ISPRS working group VII/2 “Laser-Scanners for Forest and Landscape Assessment”, Freiburg, Germany. Int. Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XXXVI, part 8/W2, s. 56-61.*

Praca naukowa finansowana 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”.

#### REPRESENTATION OF SELECTED LANDSCAPE OBJECTS IN AIRBORNE LASER SCANNING DATA

KEY WORDS: airborne laser scanning, natural environment, vegetation, representation

SUMMARY: While constructing the DTM, it is necessary to filter out a large amount of information about the objects present on the terrain surface, representing typical land use and cover features – buildings and vegetation. The important economic and research branches need possibly detailed information regarding the structure of land cover. Hence, it becomes clear that currently developed methodology for construction of DSM needs a more analytical approach than the present one. The spatial variability of land cover causes that unified rules for the different landscape elements are useless. There should be an accurate analysis of spatial distribution of objects and also characteristics



of their representation described in LIDAR data . Collecting such information will allow the spatial variable rules to be applied for processing of the LIDAR data clouds for both, DTM generation and for surfaces representing vertical structure of vegetation and other land cover objects. The paper presents results of the research on spatial distribution of the point clouds for different landscape objects, in two moments in a vegetation season. The first and last echoes were used. The results obtained suggest resorting to discussion about some opinions existing so far.

Dr Joanna Adamczyk  
e-mail: Joanna.Adamczyk@wl.sggw.pl  
telefon: (22) 5938216  
fax: (22) 5938207

Dr hab. Krzysztof Będkowski  
e-mail: Krzysztof.Bedkowski@wl.sggw.pl  
telefon: (22) 5938222  
fax: (22) 5938207