

**PRZESTRZENNY ROZKŁAD
PUNKTÓW ODBIĆ IMPULSÓW
SKANERA LASEROWEGO
A WYBRANE CECHY DRZEWOSTANU**

**SPATIAL DISTRIBUTION OF LASER SCANNER
LAST ECHOE REFLECTION POINTS
AND SELECTED CHARACTERISTICS OF FOREST STANDS**

Krzysztof Będkowski, Krzysztof Stereńczak

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

Słowa kluczowe: LIDAR, ostatnie echo, chmura punktów, pionowy rozkład, leśnictwo
Keywords: LIDAR, last echo, point cloud, vertical distribution, forestry

Wstęp

Wiązki promieni skanera laserowego wysyłane z poziomu lotniczego przenikają przestrzeń drzewostanu, docierając często aż do jego najniższych położonych fragmentów. Zarejestrowane miejsca odbić promieni tworzą tzw. chmury punktów. Już na podstawie pobieżnego oglądu kształtów chmur i rozkładów przestrzennych punktów można stwierdzić, że zależą one od charakteru pokrywy roślinnej oraz fazy jej rozwoju i pory roku. Oczywisty wydaje się wpływ wysokości roślinności na rozkład odbić punktów. Nie można jednak z góry przewidzieć, jaki jest wpływ innych cech, np. wielkości biomasy, grubości drzew, ich wieku lub warstwowej budowy drzewostanu. Poznanie charakteru tych zależności może mieć duże znaczenie praktyczne dla leśnictwa, gdyż może być podstawą nowych metod inwentaryzacji lasów.

W literaturze znaleźć można dwa sposoby opisu wypełnienia przestrzeni leśnej z wykorzystaniem danych lidarowych. W pierwszym stosuje się sześciany o określonej kubaturze (ang. *voxels*). Idea takiego podejścia opiera się na klasyfikowaniu przestrzeni w zależności od tego ile punktów laserowych znalazło się w określonym miejscu (Lefsky i in., 2002). Analiza rozkładu sześcianów, różniących się liczbą zarejestrowanych wewnątrz nich odbić promieni lasera, daje wyobrażenie o wypełnieniu przestrzeni przez roślinność. W ten sposób możliwe jest obliczanie np. wielkości biomasy. Innym podejściem jest badanie rozkładu chmury punktów na powierzchni próbnej. Chmura taka analizowana jest najczęściej w określonym promieniu od pionowej osi powierzchni próbnej (próbą jest część przestrzeni lasu zawarta w

walcu). Zliczane są punkty w poziomych, np. metrowej szerokości, warstwach – klasach (Naeset, 2004a, 2004b). Uzyskane charakterystyki stosowane są następnie do budowy modeli wykorzystywanych w określaniu zasobności drzewostanu lub biomasy nadziemnej i podziemnej części drzew.

Metodyka badań

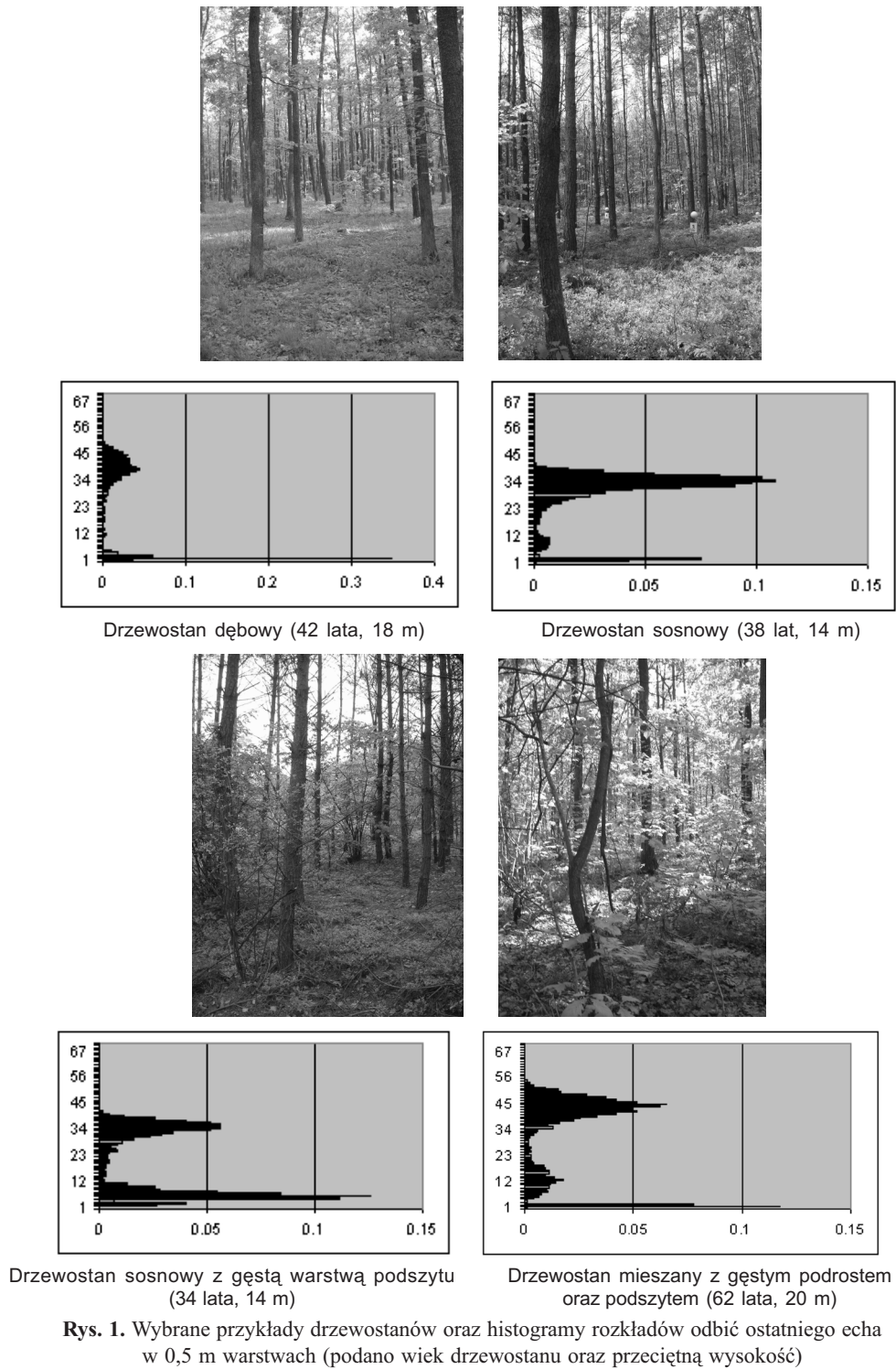
Drzewostan nie jest przeszkodą absolutną dla promieni laserowych. Można powiedzieć, że ma charakter obiektu ażurowego, dzięki czemu część promieni jest w stanie dotrzeć do głębszych partii i powrócić do skanera. Postawiono tezę, że *rozkład chmury punktów skanowania laserowego ma związek z pionową budową drzewostanu*. W szczególności oczekiwano, że możliwość „wnikania” promieniowania laserowego w głąb drzewostanu zależy od podstawowych cech: zapasu (wielkości) grubizny, wysokości, pierśnicy (grubość drzewa na wys. 1,3 m) oraz wieku, a także, że w rozkładzie przestrzennym chmur punktów powinny wyraźnie zaznaczyć się oprócz warstwy koron, także (o ile istnieją) niżej położone piętra drzewostanu lub innych warstw, w tym dno lasu.

Badania przeprowadzono w Uroczysku Głuchów, należącym do Leśnego Zakładu Doświadczalnego Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie. Wykorzystano dane z nalotu wykonanego w maju 2007 roku. Zastosowany system skanerowy Falcon II umożliwiał zapisanie oddzielnie pierwszego i ostatniego echa. Gęstość skanowania wynosiła do kilkunastu punktów odbić, w przeliczeniu na metr kwadratowy powierzchni płaskiej, nie pokrytej lasem (Będkowski i in., 2008).

Rozkład pionowy chmur punktów scharakteryzowano za pomocą histogramów (rys. 1), które pokazują frekwencję względną odbić, tj. stosunek liczby odbić w danej warstwie drzewostanu do ogólnej liczby zarejestrowanych odbić. Przyjęto jednakową grubość warstw wynoszącą $dH = 0,5$ m. Liczba warstw zależała od różnicy rzędnych punktów odbić położonych najwyżej i najniżej. Histogramy rozkładów punktów odbić promieni laserowych dotyczą 34 kwadratowych powierzchni próbnych o wielkości 2500 m^2 . Powierzchnie te znajdowały się w drzewostanach mieszanych sosnowo-dębowych, najczęściej z przewagą sosny. Analizą objęto wyłącznie rozkłady punktów ostatnich odbić (*last echo*). Punkt odbicia oznaczony jako ostatnie echo jest rejestrowany wówczas, gdy istnieje zauważalna różnica czasu między momentem powrotu pierwszego odbicia sygnału (*first echo*) i dalszymi odbiciami. Wielokrotne echa powstają na skutek odbicia części sygnału od coraz niżej położonych fragmentów drzewostanu – koron drzew, gałęzi, pni, drugiego piętra drzewostanu, podrostu, itd. (Będkowski, 2006). Jeśli zarejestrowano tylko jeden powracający sygnał, wówczas zapisywany był jako pierwsze echo.

Histogramy chmur punktów przygotowano za pomocą autorskiego programu. Na podstawie wizualnej oceny histogramów można sformułować następujące uwagi dotyczące ich cech charakterystycznych:

1. W większości histogramów wyraźnie zaznaczone są dwa lub więcej maksima.
2. Maksimum położone najwyżej (najwyżej od poziomu gruntu = najwyższy numer warstwy) jest prawdopodobnie związane z warstwą koron drzewostanu piętra pierwszego (numeracja pięter w drzewostanach prowadzona jest od piętra wyższego do niżej położonych).
3. Drugie wysokie maksimum występuje w warstwach położonych nisko (najczęściej w warstwie drugiej, tj. 0,5–1,0 m). To maksimum można wiązać z odbiciem sygnałów od dna lasu – krzewów, roślin runa leśnego.



Rys. 1. Wybrane przykłady drzewostanów oraz histogramy rozkładów odbić ostatniego echa w 0,5 m warstwach (podano wiek drzewostanu oraz przeciętną wysokość)

4. W terenie płaskim odbicie od poziomu gruntu powinna reprezentować warstwa pierwsza. Obserwowany rozrzut może wynikać, oprócz wpływu roślinności, także ze zróżnicowania wysokości (rzędnych) terenu w obrębie powierzchni próbnej.

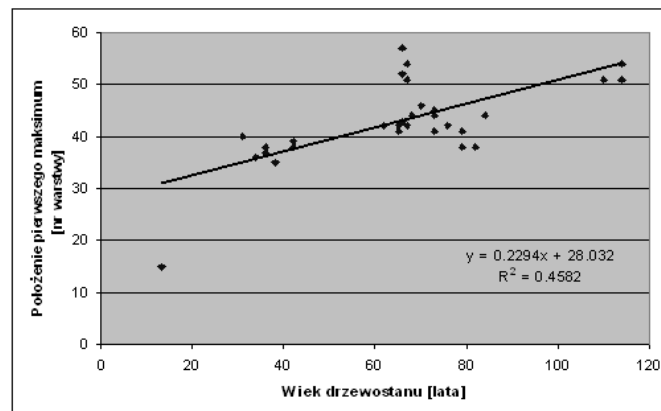
5. Zaznaczone w części histogramów trzecie maksimum, znajdujące się na poziomie 8–10 warstwy (4,0–5,0 m) można wiązać z maksymalnym zasięgiem warstwy krzewów.

6. Najwyżej położone punkty odbić definiują kres zasięgu górnego drzewostanu. Tę wielkość można prawdopodobnie wiązać z wysokością najwyższych drzew w drzewostanie.

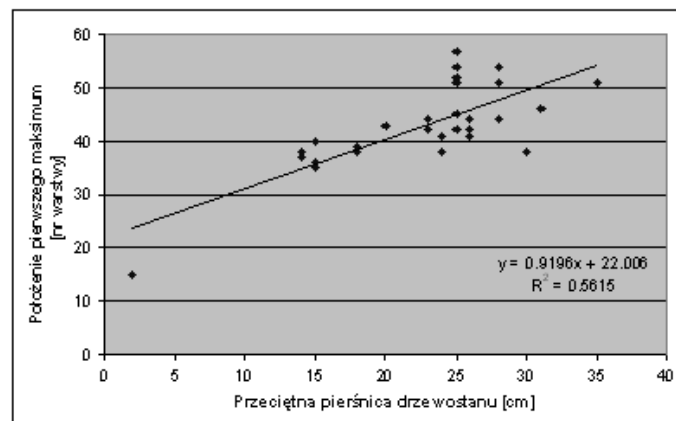
7. W danych laserowych mogą wystąpić odbicia błędnie zarejestrowane, np. na jednej z powierzchni wystąpiło kilka odbić położonych ok. 40 m powyżej pozostałych odbić. Odbicia te mogą pochodzić od ptaków lub są wynikiem błędu urządzenia rejestrującego.

8. Kształt histogramu w pobliżu maksimum położonego najwyżej może mieć związek z grubością warstwy koron – sprawdzenie wiarygodności tej tezy wymaga przeprowadzenia dodatkowych badań terenowych.

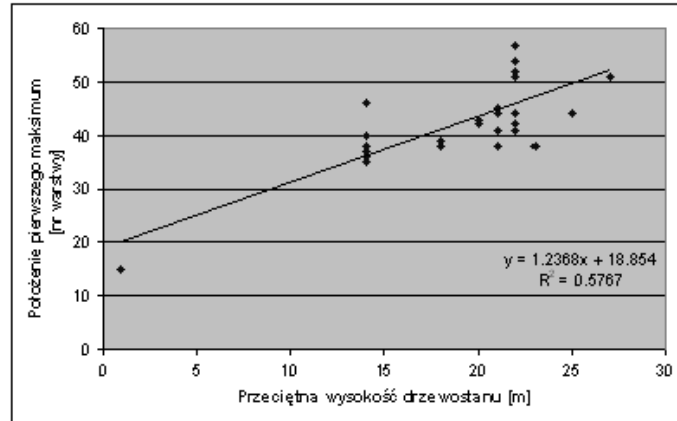
Postanowiono zbadać związki pomiędzy czterema cechami drzewostanów (przeciętna wysokość, przeciętna pierśnica, wiek oraz zapas grubizny) oraz położeniem górnego maksimum histogramu. Wyniki przedstawiono na rysunkach 2–5. Wielkości opisujące drzewostany uzyskano z danych inwentaryzacji wykonanej w terenie w ramach prac urządzania lasu.



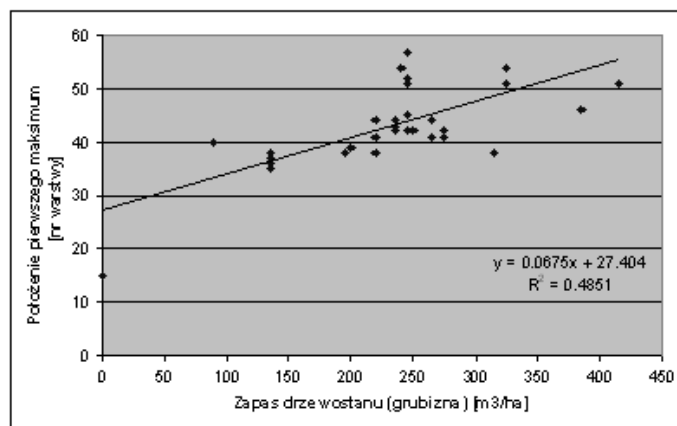
Rys. 2. Zależność położenia pierwszego maksimum od wieku drzewostanu



Rys. 3. Zależność położenia pierwszego maksimum od pierśnicy drzewostanu



Rys. 4. Zależność położenia pierwszego maksimum od wysokości drzewostanu



Rys. 5. Zależność położenia pierwszego maksimum od zapasu drzewostanu

Poszczególne cechy drzewostanów mają umiarkowany wpływ na kształtowanie się analizowanej cechy chmur odbić. Kolejność związków z cechą chmury punktów – położeniem najwyższego maksimum, od najsilniejszego do najsłabszego, jest następująca: przeciętna wysokość drzewostanu, przeciętna pierśnica drzewostanu, zasobność grubizny, wiek.

Uzyskany rezultat można uznać za bardzo dobry, jeśli wziąć pod uwagę, że analizowano stosunkowo duże fragmenty drzewostanów (2500 m²), które jak wynika z obserwacji terenowych i fotogrametrycznych, nie zawsze były jednorodne. Występowały drobne różnice wysokości drzewostanu, form zmieszania gatunków i luki w zwarcu drzew. Cechy rozkładu chmur punktów mają więc generalny charakter i są wypadkową struktury drzewostanu z całej powierzchni próbnej. Czynnikiem, który wpływał na analizowane rozkłady, był także fakt, że rejestracji dokonano w chwili rozpoczęcia sezonu wegetacyjnego, gdy niektóre drzewa liściaste oraz podrost i podszyt wykształciły już częściowo aparat asymilacyjny.

Wnioski

Histogramy rozkładów chmur punktów skanowania laserowego mogą być źródłem ważnych informacji dotyczących pionowej budowy drzewostanów. W szczególności tą drogą można wnioskować o wysokości drzewostanów. Należy się spodziewać, że możliwe będzie także zbieranie informacji o szczegółach budowy drzewostanu: grubości warstwy koron, występowaniu i wysokości drugiego piętra oraz warstwy podrostu i podszytu.

Niezbędne jest podjęcie dalszych badań nad znaczeniem cech kształtu histogramów w kontekście opisu struktur drzewostanów, z uwzględnieniem zmienności sezonowej lasu oraz zmienności przestrzennej drzewostanów. Ten ostatni czynnik może mieć duże znaczenie dla podniesienia dokładności wyników inwentaryzacji zapasu drzewostanów.

Literatura

- Będkowski K., 2006: LIDAR – Przełom w inwentaryzacji lasu. *Las Polski* 23, s. 16-18.
- Będkowski K., Adamczyk J., Brach M., Gzowski P., Karaszkievicz W, Krawczyk A., Marmol U., Mikrut S., Miścicki S., Morańda M., Olenderek 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 Urządzania Lasu, Geomatyki i Ekonomiki Leśnictwa, SGGW w Warszawie.
- Lefsky M.A., Cohen W.B., Parker G.G., Harding D.J., 2002: LIDAR Remote Sensing for Ecosystem Studies. *BioScience* vol. 52 no. 1, pp. 19-30.
- Naesset E., 2004a: Practical large-scale forest stand inventory using a smallfootprint airborne scanning laser. *Scandinavian Journal of Forest Research* no. 19, pp. 164-179.
- Naesset E., 2004b: Estimation of above- and below-ground biomass in boreal forest. “Laser-Scanners for Forest and Landscape Assessment”, Workshop WG VIII/2. Freiburg, Niemcy.

Abstract

The aim of this paper is to present how forest environment influences LIDAR point cloud spatial distribution. If any strong relation between spatial distribution of LIDAR data and forest structure is established, it will be possible to use this information for correction of stand volume calculation. LIDAR data (Falcon II system, TopoSys Company) as well as field inventory data were acquired in spring 2007. Histogram was used as an empirical characteristic of LIDAR data distribution. 34 sample plots were used for first investigations. Their structure, species composition and age was different, so most of the cases were checked. The main goal was to find strong relation between the features received from field measurements and those calculated from LIDAR data spatial distribution. The results showed height relations for such characteristics as: diameter on the breast height (dbh) and for stand height ($R^2 \sim 0,6$). Future study will be carried out to check the influence of other forest variables as well as changes in seasonal forest structure.

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

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