

BUDOWA PIONOWA DRZEWOSTANU W ŚWIETLE PRZESTRZENNEGO ROZKŁADU PUNKTÓW LOTNICZEGO SKANOWANIA LASEROWEGO

VERTICAL STAND STRUCTURE IN THE LIGHT OF SPATIAL DISTRIBUTION OF AIRBORNE LASER SCANNING POINTS

Marcin Myszkowski, Marek Ksepko

Biuro Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej Oddział w Białymstoku

Słowa kluczowe: skanowanie laserowe, skaner full waveform, budowa pionowa drzewostanu
Keywords: laser scanning, full waveform scanner, vertical stand structure

Wstęp

Wiązki promieni skanera laserowego wysyłane z pułapu lotniczego przenikają przestrzeń drzewostanu, docierając często do jego najniższej położonych warstw, nawet do poziomu podłoża. Na podstawie pobieżnego oglądu chmury punktów w przestrzeni trójwymiarowej można stwierdzić, że ich rozkład przestrzenny zależy m.in. od budowy pionowej drzewostanu. Tradycyjnie parametr ten jest określany dla każdego drzewostanu podczas taksacji (inventaryzacji) terenowej. Zautomatyzowanie procesu wyznaczania drzewostanów o określonej budowie pionowej ma duże znaczenie praktyczne dla leśnictwa, m.in. ze względu na zainteresowanie przemysłu energetycznego biomasą inną niż drewno wielkowymiarowe oraz możliwością instrumentalnego szacowania jej ilości i lokalizacji. Ma to również duże znaczenie w hydrodynamicznym modelowaniu potencjalnych potrzeb wodnych drzewostanów. Ze względu na szybki rozwój cyfrowych technik bezpośredniej analizy chmury punktów lotniczego skanowania laserowego i bardzo obiecujące wyniki badań, pojawiają się w Polsce i na świecie postulaty ich praktycznego wykorzystania. Z użyciem lotniczego skanera laserowego można już dzisiaj określać wiele parametrów obrazujących przestrzeń leśną. Należy tu wymienić m.in.: występowanie drzew podokapowych (Maltamo et al., 2005), wysokość drzewostanu (Rooker Jensen et al., 2006), długość korony (Węzyk et al., 2008), biomasę (Lefsky et al., 2002), liczbę drzew (Rahman et al., 2009), pierścnicowe pole przekroju (Hudak et al., 2007).

W prezentowanej w artykule pracy postawiono tezę, że przestrzenny rozkład punktów skanowania laserowego ma związek z budową pionową drzewostanu i da się go opisać prostymi statystykami. Jako cel analizy przyjęto znalezienie parametrów, za pomocą których będzie możliwa automatyczna lub częściowo wspomagana delimitacja drzewostanów o różnej budowie pionowej.

Dane

W prezentowanej analizie wykorzystano dane z lotniczego skanowania laserowego wykonanego urządzeniem Riegl LMS-Q680i. Nalot wykonano na przełomie czerwca i lipca 2010 roku. Wysokość lotu wynosiła około 670 m, a częstotliwość skanowania 240 kHz, co w rezultacie dało chmurę punktów o gęstości 6 punktów na metr kwadratowy powierzchni płaskiej, niepokrytej roślinnością wysoką. Zastosowane urządzenie to skaner typu *full waveform*, czyli taki który rejestruje całą falę powracającą (rys. 1). Na etapie postprocesingu, analizując jej kształt, określa się liczbę i położenie konkretnych odbić. Daje to możliwość bezpośredniego sterowania procesem ekstrakcji poszczególnych odbić w wynikową chmurę punktów, w zależności od celu pomiaru i późniejszego zastosowania danych (Wagner et al., 2007). Skaner typu *full waveform* daje również możliwość pozyskania dodatkowych danych, nieosiągalnych przy zastosowaniu tradycyjnych urządzeń. Oprócz współrzędnych oraz intensywności odbicia, istnieje możliwość zapisu ich amplitudy i zakresu (rys. 1). Wartości tych parametrów wynikają bezpośrednio z kształtu fali odbitej. Kolejnym atutem urządzenia tego typu jest możliwość rejestracji teoretycznie nieograniczonej liczby odbić. W analizowanych danych zaobserwowano do 11 odbić z jednej wiązki, jednakże przypadki powyżej 5 odbicia występowały sporadycznie. Nalot oraz wstępne przygotowanie danych wykonała firma MGGP Aero w ramach eksperymentu własnego w Kampinoskim Parku Narodowym.

Metodyka badań

Drzewostan jest bardzo specyficznym obiektem w świetle danych skanowania laserowego. Nie jest on przeszkodą absolutną dla wiązek lasera. Odbicia powstają na szczycie korony, na poszczególnych gałęziach, na pniach, duża część dociera do poziomu gruntu czy roślinności runa leśnego (Będkowski, Stereńczak, 2008). Z tego względu zestaw danych z terenów leśnych jest bogaty, a jednocześnie trudny do analizy, ponieważ przestrzenne rozmieszczenie punktów jest zależne od wielu czynników. Jednym z nich, bez wątpienia, jest budowa pionowa drzewostanu, parametr istotny i analizowany zarówno w nauce światowej (Zimblea et al., 2003), jak i polskiej (Będkowski, Adamczyk, 2007; Będkowski, Stereńczak, 2008).

Z obszaru badań wyselekcjonowano drzewostany z przeważającym udziałem sosny w wieku powyżej 20 lat tj. wydzielenia, gdzie sosna stanowi co najmniej 80% składu górnego piętra. Wśród wytypowanych drzewostanów losowo założono 130 powierzchni próbnych w kształcie kwadratu o boku 30 m (pole podstawowe). Na potrzeby analizy poniżej określonych parametrów, każdą z powierzchni zakwalifikowano do jednej z trzech klas drzewostanu (rys. 2). Klasa 1 to drzewostany jednopiętrowe, bez podszytu i podrostu. Podrost to młode pokolenie pochodzące z odnowienia naturalnego lub sztucznego, powyżej 0,5 m wy-

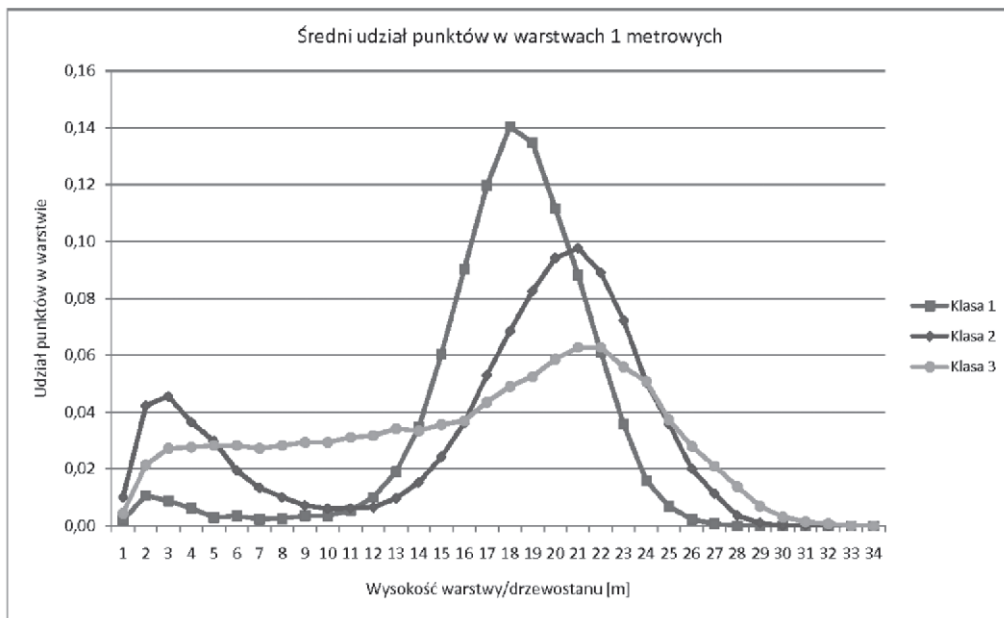
sokości, rokujące nadzieję na utworzenie przyszłego drzewostanu o pełnej przydatności hodowlanej. W przypadku braku takiej przydatności mówi się o podszycie (IUL, 2003). Klasa 2 to drzewostany jednopiętrowe z podszytem lub podrostem o wysokości do 1/3 wysokości drzewostanu. Klasa 3 to drzewostany z silnym podrostem/podszytem o wysokości powyżej 1/3 drzewostanu lub drzewostany dwupiętrowe. W celu wydzielenia powierzchni, na których występuje wyraźna przerwa pomiędzy warstwą koron górnego piętra a roślinnością niższą, jako wartość graniczną przyjęto 1/3 wysokości drzewostanu. Przypisania powierzchni do klasy dokonano na podstawie analizy wizualnej chmury punktów oraz wizyty terenowej w celu potwierdzenia przydziału do danej klasy.

Dla każdej z powierzchni próbnych wyznaczono następujące parametry: współczynnik skośności, odchylenie standardowe, wartość percentyla 95%, liczbę punktów na powierzchni. Wyznaczono również liczbę punktów w poziomych warstwach o zakresach 1 i 2 m, tworząc w ten sposób histogramy rozkładu odbić. Pokazują one frekwencję względną odbić tj. stosunek liczby odbić w danej warstwie do ogólnej liczby zarejestrowanych odbić na badanej powierzchni. Aby wykluczyć wpływ deniwelacji terenu na wyliczane parametry, wszystkie obliczenia przeprowadzono na znormalizowanej chmurze punktów. Normalizację przeprowadzono na modelu terenu interpolowanym na podstawie danych laserowych. Obliczenia przeprowadzono w dwóch wariantach:

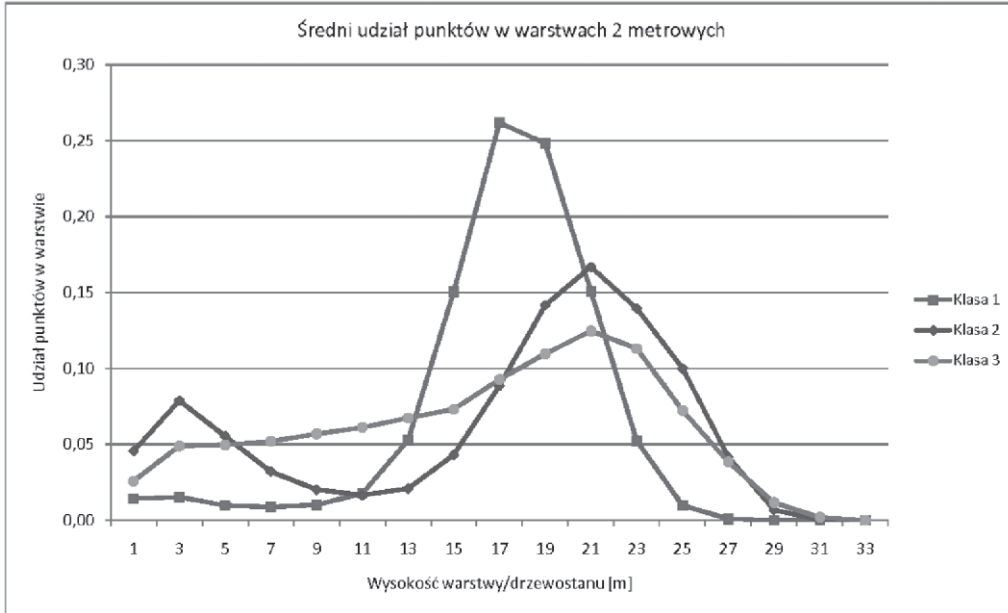
1) dane z separacją punktów reprezentujących podłoże oraz obiekty „wystające” do pół metra nad poziom gruntu;

2) dane bez separacji (wszystkie punkty).

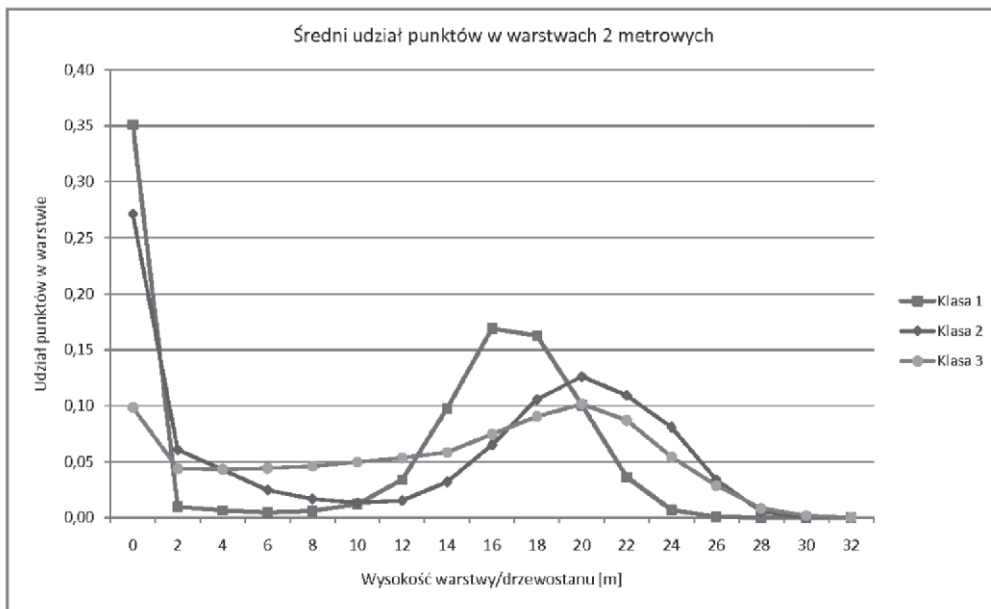
Analizą objęto komplet odbić. Stworzono histogramy dla każdej z powierzchni oraz histogram zbiorczy pokazujący udział liczby punktów w każdej z warstw jedno i dwumetrowych (rys. 3, 4 i 5). Ze względu na przybliżone wysokości średnie drzewostanu na poszczegól-



Rys. 3. Średnie udziały punktów w poziomych warstwach 1 m; wariant 1 – z wyłączeniem odbić od terenu i roślinności niskiej



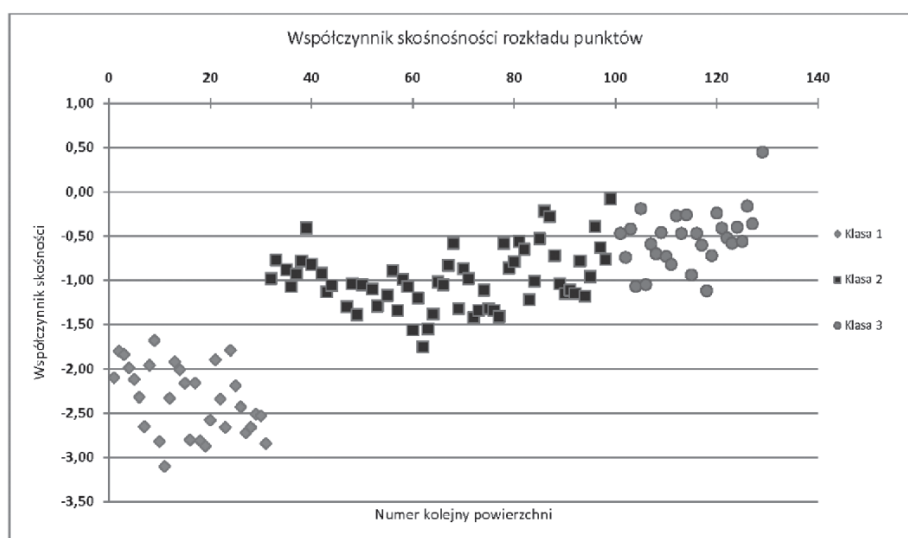
Rys. 4. Średnie udziały punktów w poziomych warstwach 2 m; wariant 1 – z wyłączeniem odbić od terenu i roślinności niskiej



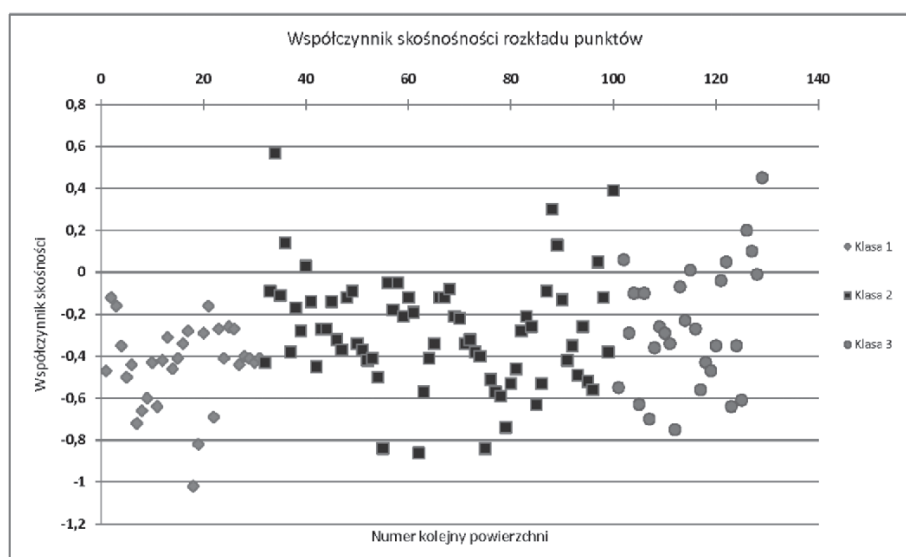
Rys. 5. Średnie udziały punktów w poziomych warstwach 2 m; wariant 2 – bez wyłączenia odbić od terenu i roślinności niskiej

nych powierzchniach w klasie, porównano średni udział liczby punktów w każdej z warstw dla wszystkich powierzchni na jednym diagramie. Jeżeli warunek ten byłby niespełniony porównanie średnich udziałów dla poszczególnych warstw byłoby bezzasadne, ponieważ dane z drzewostanów różnych wysokości wzajemnie by się zakłócały. Wysokość drzewostanu określono jako wartość percentyla 95% (Wężyk et al., 2008). Dla klasy 1 średnia wysokość mieściła się w przedziale 20-25 m, dla pozostałych klas w przedziale 23-27 m.

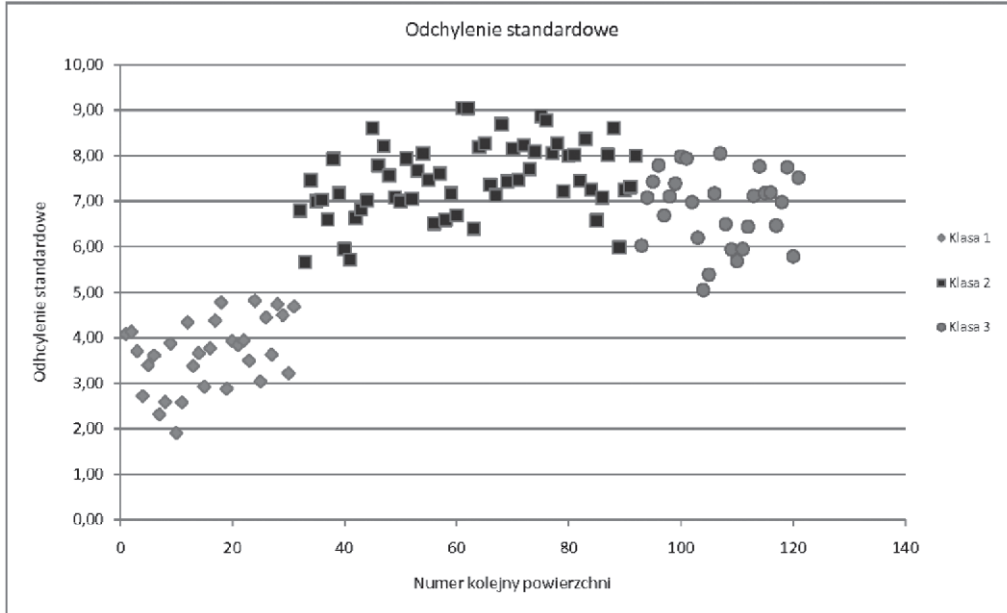
Wyznaczono współczynnik skośności rozkładu wysokości punktów skanowania laserowego dla wszystkich powierzchni próbnych. Rysunek 6 przedstawia współczynnik skośności



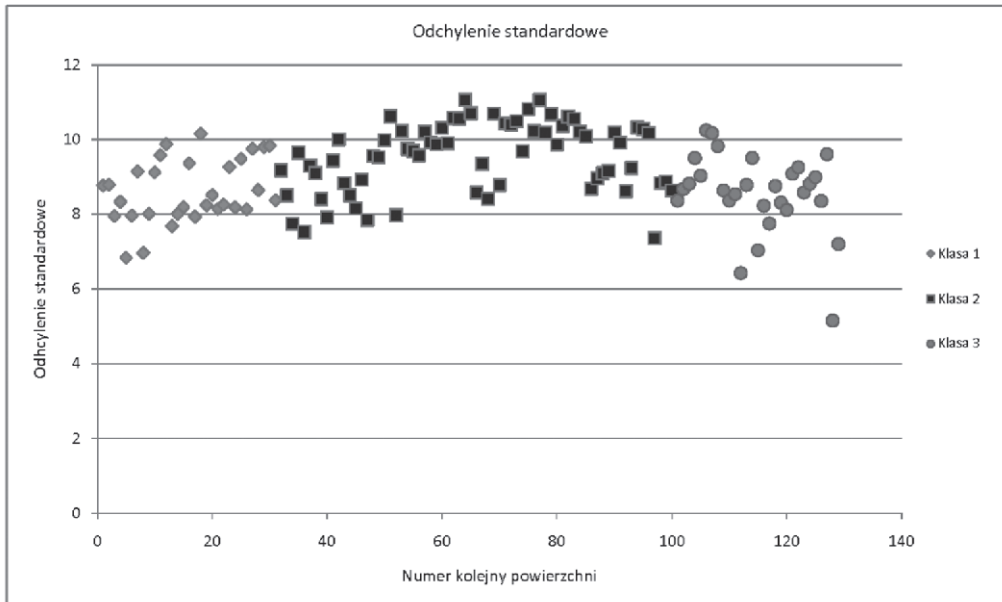
Rys. 6. Współczynnik skośności dla poszczególnych powierzchni wg wariantu 1



Rys. 7. Współczynnik skośności dla poszczególnych powierzchni wg wariantu 2



Rys. 8. Odchylenie standardowe dla poszczególnych powierzchni wg wariantu 1



Rys. 9. Odchylenie standardowe dla poszczególnych powierzchni wg wariantu 2

dla wariantu 1 – z wyłączeniem odbić od terenu i roślinności niskiej, rysunek 7 dla wariantu 2 – bez wyłączenia odbić od terenu i roślinności niskiej.

Wyznaczono również odchylenie standardowe rozkładu wysokości punktów skanowania laserowego dla wszystkich powierzchni próbnych. Rysunek 8 przedstawia współczynnik skośności dla wariantu 1 – z wyłączeniem odbić od terenu i roślinności niskiej, rysunek 9 dla wariantu 2 – bez wyłączenia odbić od terenu i roślinności niskiej.

Wnioski

Analiza histogramów wskazuje na silną zależność pomiędzy budową pionową a przestrzennym rozkładem odbić skanowania laserowego. Pomimo przeszkody jaką są korony drzew górnego piętra, wystarczająco mocna wiązka dociera do wnętrza drzewostanu, gdzie odbija się od roślinności podokapowej. Na rysunku 3 oraz 4 można zaobserwować, że drzewostany z klasy 2 charakteryzują się znaczną liczbą odbić podokapowych reprezentowanych przez drugie (mniejsze) ekstremum lokalne. Prawie jednakową liczbą odbić w całym zasięgu wysokości drzewostanu wykazują powierzchnie z klasy 3. Maksimum globalne funkcji określającej kształt histogramu reprezentuje odbicia od koron piętra górnego. Oczywiście jest zatem, że dla drzewostanów z klasy 1 nie ma dużej liczby odbić, z wyjątkiem koron drzew dominujących. Porównując histogramy dla wariantu pierwszego oraz drugiego zauważa się podkreślenie różnic pomiędzy poszczególnymi klasami. Nie ma znaczących różnic pomiędzy histogramami dla przedziałów jedno- oraz dwumetrowych. Można zatem stwierdzić, że w analizie budowy pionowej drzewostanu warstwy jednometrowe są za szczególne – rozwarstwienie co dwa metry jest wystarczające. Chcąc przeprowadzać szczegółowe pomiary np. wysokości drzewostanu, wysokości koron, czy wysokości podrostu i podszytu należy korzystać z podziału na mniej niż jednometrowe warstwy poziome. Analiza histogramu dla każdej powierzchni z osobna nasunęła następujące spostrzeżenia:

- czytelne rezultaty otrzyma się w drzewostanach gdzie górne piętro w obszarze pola podstawowego jest równomierne;
- udział luk w polu podstawowym zaburza wartości wyznaczanych parametrów;
- zbyt małe pole podstawowe powoduje zachwianie wyników, ze względu na niereprezentatywną próbę.

Wobec powyższego należy stwierdzić, że analizując histogram pionowego rozkładu punktów można z łatwością wyznaczyć drzewostany z różnym udziałem i pokryciem wysokiej roślinności podokapowej.

Parametry takie jak odchylenie standardowe, czy współczynnik skośności rozkładu współrzędnej pionowej Z są nieprzydatne w sytuacji gdy prowadzi się obliczenia na „surowej” chmurze punktów. W wyniku znacznego udziału odbić od terenu i roślinności niskiej, normalizowanie współrzędnej Z względem modelu terenu nie daje możliwości rozróżnienia klas drzewostanu za pomocą badanych wskaźników. Dopiero usunięcie punktów nadmiarowych, zaburzających poszczególne parametry (wariant 2, rysunek 6, 8), spowodowało podkreślenie różnic pomiędzy klasą 1 a pozostałymi kategoriami drzewostanu. Za pomocą bardzo prostych parametrów, jakimi są współczynnik skośności i odchylenie standardowe, można wyznaczyć przestrzenne rozmieszczenie drzewostanów bez podrostu lub podszytu i co ważne – bez potrzeby analizy danych z powierzchni terenowych. Istotnym jest zaznaczenie, że w planowaniu gospodarczym i wielu pracach badawczych stosowane są obecnie następujące

wytyczne Instrukcji Urządzania Lasu (IUL, 2003) co do podziału drzewostanów ze względu na ich budowę pionową:

1. Jednopiętrowe – takie, w których warstwa drzew składa się zasadniczo z jednego piętra o niewielkim zróżnicowaniu wysokości, zaś drzewa występujące pod okapem drzewostanu nie spełniają warunków drugiego piętra.
2. Dwupiętrowe – takie w których warstwa drzew składa się z dwóch wyraźnych pięter różnej wysokości. Do piętra dolnego zalicza się drzewa, których korony nie przenikają do piętra górnego, nie są też zaliczone do warstwy podrostu lub podszytu, a jednocześnie wskaźnik ich zwarcia wynosi co najmniej 3b (zwarcie przerywane, zagęszczenie przerywane, miejscami luźne).
3. Wielopiętrowe – takie, w których warstwa drzew rozdzielona jest na co najmniej trzy poziomy o charakterze pięter różnej wysokości, przy czym wierzchołki drzew jednego gatunku mogą występować na różnych poziomach. Drzewa wszystkich poziomów (warstw drzewostanu) wykazują w zasadzie miąższość grubizny (cieńsze zalicza się odpowiednio do podrostu lub podszytu), a także widoczne cechy zwarcia poziomego (niepozwalającego zaliczyć drzewostanu do budowy przerębowej).

Ponadto wydziela się drzewostany o budowie przerębowej, drzewostany w klasie odnowienia oraz w klasie do odnowienia. Jednakże, z punktu widzenia prezentowanej analizy, są one mało istotne.

Analizując powyższe wymagania należy stwierdzić, że na podstawie badanych wskaźników nie ma możliwości rozróżnienia „instrukcyjnego” typu budowy pionowej drzewostanu. Należy zauważyć, że określenie *drzewostan jednopiętrowy* (wg IUL, 2003) nie oznacza lasu, pod okapem którego nie ma innych warstw drzew lub krzewów. Również skomplikowaną kwestią jest rozróżnienie wysokiego podszytu od drzew drugiego piętra. Najlepszą cechą różnicującą podszyt od drugiego piętra czy podrostu jest gatunek drzewa lub krzewu, parametr trudny do ustalenia z pułapu lotniczego. Żeby móc jednak wykorzystać dużą nośność informacyjną danych skanowania laserowego i możliwość uzyskania za jego pomocą większej liczby cech opisujących rozkład przestrzenny biomasy roślinnej, należy zaproponować pewną modyfikację opisu budowy pionowej drzewostanu. Alternatywą może tu być np. wykorzystanie wskaźników wielowymiarowych w opisie przestrzennego rozmieszczenia biomasy w drzewostanie, podobnych do stosowanych w statystyce przestrzeni trójwymiarowej.

Literatura

- Będkowski K., Adamczyk J., 2007: Odwzorowanie wybranych obiektów krajobrazu w danych lotniczego skanowania laserowego. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 17a.
- Będkowski K., Stereńczak K., 2008: Przestrzenny rozkład punktów odbić impulsów skanera laserowego a wybrane cechy drzewostanu; *Roczniki Geomatyki*, t. 6, z. 8, PTIP, Warszawa.
- Hudak A.T., Evans J., Crookston N., Falkowski M., Steigers B., Taylor R., Hemingway H., 2007: Aggregating Pixel-Level Basal Area Predictions Derived from LiDAR Data to Industrial Forest Stands in North-Central Idaho. *Proceedings of Third Forest Vegetation Simulator Conference*.
- IUL, 2003: Instrukcja Urządzania Lasu. Generalna Dyrekcja Lasów Państwowych. Załącznik do Zarządzenia nr 43 Dyrektora Generalnego Lasów Państwowych z dnia 18 kwietnia 2003 r.
- Lefsky M., Cohen W., Harding D., Parker G., Acker S., Gower T., 2002: Lidar remote sensing of above-ground biomass in three biomes. *Global Ecology & Biogeography* 11.
- Maltamo M., Packalén P., Yu X., Eerikäinen K., Hyypä J., Pitkänen J., 2005: Identifying and quantifying heterogeneous boreal forest structures using scanner laser data. *Forest Ecology and Management* 216.

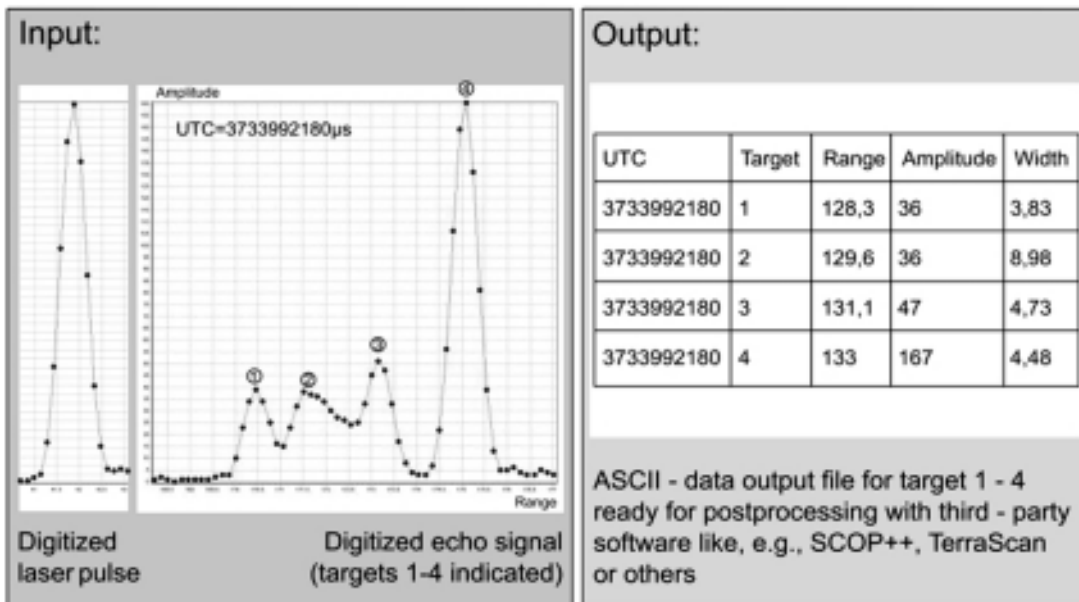
- Rahman M.Z.A., Gorte B.G.H., Bucksch A.K., 2009: A new method for individual tree delineation and undergrowth removal from high resolution air borne LIDAR. International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Volume XXXVIII, Part 3/W8. ISPRS Workshop – Laserscanning 2009.
- Rooker Jensen J., Humes K., Conner T., Williams C., DeGroot J., 2006: Estimation of biophysical characteristics for highly variable mixed-conifer stands using small-footprint lidar. *Canadian Journal of Forest Research* Vol. 36, No 5.
- Wagner W., Roncat A., Melzer T., Ullrich A., 2007: Waveform analysis techniques in air borne laser scanning. International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXVI, Part 3 / W52.
- Wężyk P., Tompański P., Szostak M., Glista M., Pierzchalski M., 2008: Describing the selected canopy layer parameters of the Scots pine stands using ALS data. Proceedings of SilviLaser 2008.
- Zimblea D. A., Evans D.L., Carlson G.C., Parker R.C., Grado S.C., Gerard P.D., 2003: Characterizing vertical forest structure using small-footprint airborne LiDAR. *Remote Sensing of Environment* 87. www.riegl.com

Abstract

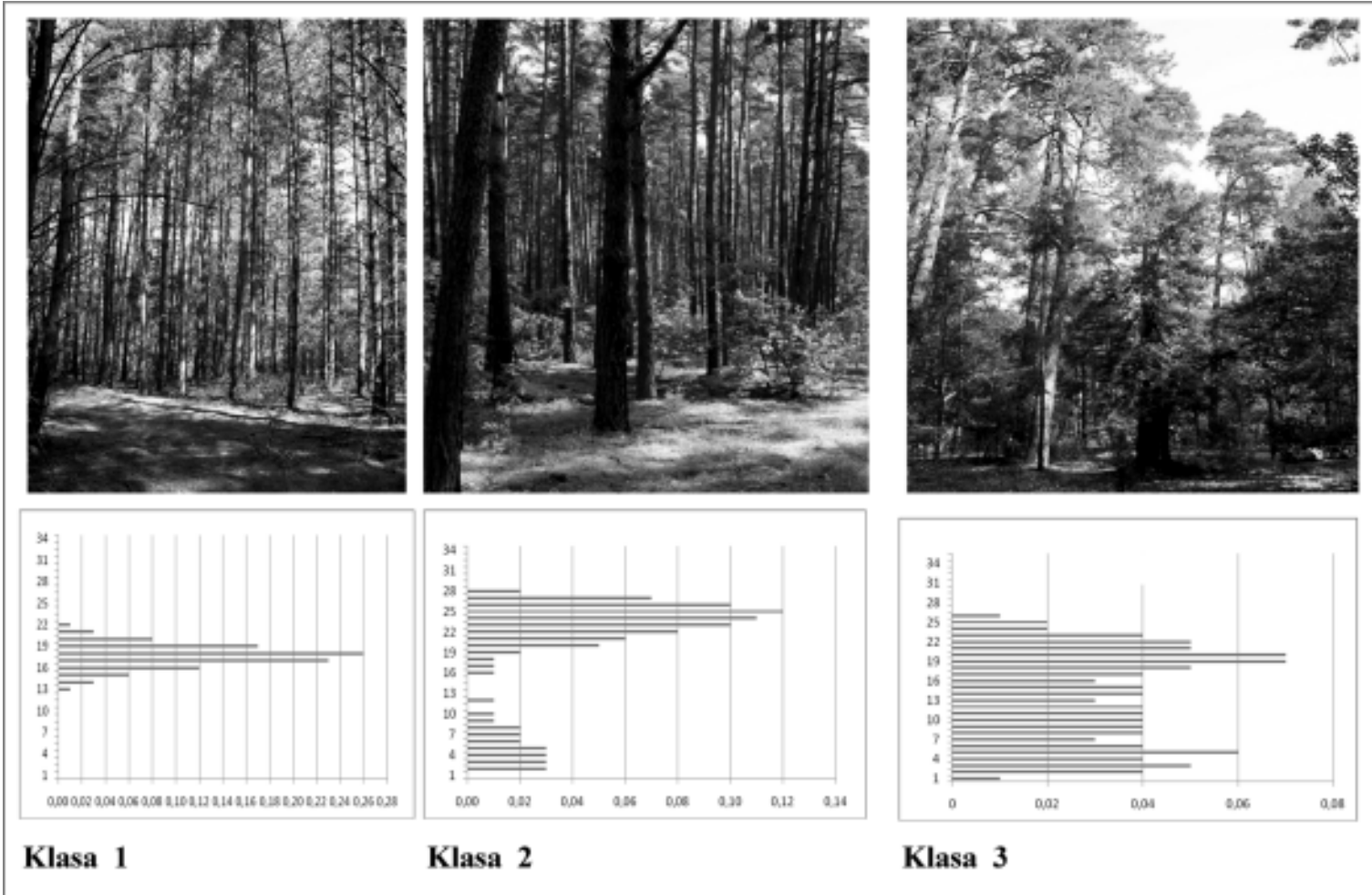
Airborne laser scanning is one of the main research subjects in the field of applications of geomatics for the needs of forestry. The analysis of spatial distribution of reflections is a developmental theme and still subject to detailed investigation. Vertical stand structure is a parameter used in practice simultaneously and, at the same time, offering a very detailed analysis such as the spatial distribution of biomass in the forest complex. This paper presents a simple way to identify areas of homogeneous forest stands in terms of vertical structure. The analysis uses square sample plots and designated parts of point clouds were normalized. Afterwards, such parameters as share reflections in two - and one-meter horizontal layers (it was the basis to create histograms of reflections), the skewness and standard deviation of height points distribution were computed. All parameters were determined for two variants: 1 – after removal of the point that represent terrain and low vegetation (0.5 m above the terrain model), 2 – without removing any points. Each sample plot was assigned to one of three classes: class 1 – single-story stands without undergrowth or brushwood; class 2 – single-story stands with undergrowth of up to 1 / 3 of the stand, class 3 – stands with a strong brushwood / undergrowth, with height above 1 / 3 of the stand height or two-story stand. The analysis revealed that after the removal of redundant points (variant 1), using simple parameters such as skewness and standard deviation we can determine location of stands without undergrowth or brushwood. The analysis of histograms could be used to distinguish each class separately.

mgr inż. Marcin Myszkowski
Marcin.Myszkowski@bialystok.buligl.pl

mgr inż. Marek Ksepko
Marek.Ksepko@bialystok.buligl.pl



Rys. 1. Analiza fali odbitej (źródło: www.riegl.com)



Rys. 2. Przykłady drzewostanów oraz ich histogramów w poszczególnych klasach