

**OKREŚLANIE PARAMETRU ZAGĘSZCZENIA DRZEW
W DRZEWOSTANACH SOSNOWYCH
NA PODSTAWIE ANALIZY CHMURY PUNKTÓW
NAZIEMNEGO SKANINGU LASEROWEGO***

DETERMINING STEM DENSITY PARAMETER IN PINE
STANDS BASED ON TERRESTRIAL LASER SCANNING
POINT CLOUD ANALYSIS

Piotr Wężyk, Piotr Tompalski

Laboratorium GIS i Teledetekcji, Katedra Ekologii Lasu, Wydział Leśny
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Słowa kluczowe: liczba drzew, inwentaryzacja leśna, naziemny skaningu laserowy (TLS)
Keywords: number of trees, forest inventory, Terrestrial Laser Scanning (TLS)

Wstęp

Gospodarka leśna opiera swoje funkcjonowanie w dużej mierze na sprawdzonych zasadach i instrukcjach opracowanych przez wiele pokoleń leśników w ostatnich dziesięcioleciach, a niekiedy sięga nawet do znacznie starszych metod. Odnosi się to szczególnie do czynności z zakresu hodowli czy urządzania lasu lub też blisko z nim związanej inwentaryzacji zasobów leśnych. Założenia metodyczne inwentaryzacji wynikają z przestrzennego charakteru lasu gospodarczego zajmującego rozległe powierzchnie kraju i opierają się na dokładnym badaniu jedynie wybranych fragmentów, reprezentujących drzewostany o stosunkowo niewielkiej zmienności przyrodniczej. Na przestrzeni ostatnich lat opracowano statystyczno-matematyczne metody bazujące na regularnych sieciach próbnych powierzchni kołowych o wielkości uwarunkowanej od klasy wieku drzewostanu (np. 500 m² dla starszych klas wieku). Model leśnictwa wielofunkcyjnego w celu zapewnienia swego funkcjonowania wymaga precyzyjnej wiedzy na temat aktualnego stanu zasobów wspieranych technikami geomatycznymi (Mozgawa, 2007), co swój wyraz znaleźć powinno w standardowych działaniach

* Praca powstała na materiale zgromadzonym podczas realizacji projektu „Opracowanie metody inwentaryzacji lasu opartej na integracji danych pozyskiwanych różnymi technikami geomatycznymi” finansowanego przez Generalną Dyрекcję Lasów Państwowych, koordynowanego w latach 2006-2008 przez Wydział Leśny SGGW.

toku inwentaryzacji leśnej przeprowadzanej co 10 lat. Zapewnić ma ona aktualizację baz opisowych (systemu SILP) oraz geometrycznych (leśna mapa mumeryczna) przez pozyskanie wybranych cech taksacyjnych drzew i drzewostanów, w tym także parametru zagęszczenia (liczby drzew na 1ha) oraz zwarcia koron drzew.

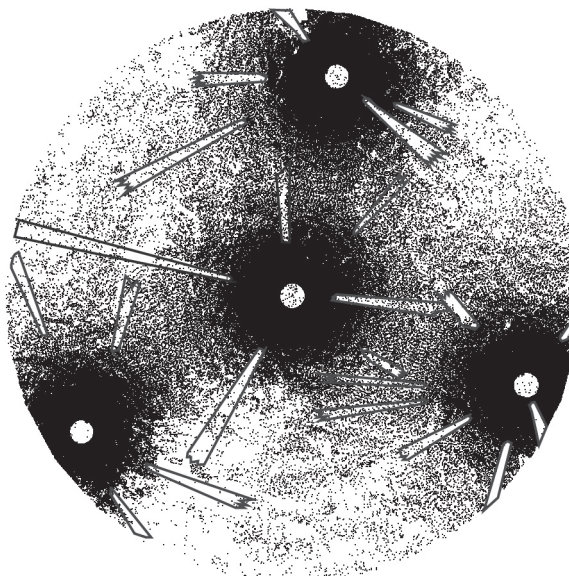
W warunkach lasów naturalnych zagęszczenie drzew związane jest z odnawianiem i wydzielaniem się drzew w drzewostanach. Proces ten regulowany jest najczęściej na drodze konkurencji osobniczej. W jednowiekowych, jednogatunkowych drzewostanach gospodarczych, zagęszczenie i związane z nim zwarcie nie jest identyczne w każdym miejscu pododdziału, choć można by tego oczekiwać od schematycznych monokultur. Zakładanie upraw sosnowych przy ściśle ustalonej schematycznej więźbie powoduje, iż na tym etapie zagęszczenie jest identyczne w każdym fragmencie pododdziału (np. 10 000 szt./1ha). W kolejnych stadiach rozwojowych drzewostanu, wartość oraz rozkład przestrzenny zagęszczenia drzew jest wynikiem wpływu: mikrosiedliska, konkurencji, zmienność osobniczej oraz czynników działających losowo (np. wiatru, uszkodzeń od zwierzyny czy działania szkodników owadzich). Głównym czynnikiem szybko modyfikującym zagęszczenie drzew jest jednak człowiek i przeprowadzane przez niego trzebieże, czyszczenia lub inne zabiegi gospodarcze, optymalizujące zagęszczenie drzew w trosce o wykształcenie odpowiedniej jakości drewna.

Przydatność fotogrametrii lotniczej czy teledetekcji satelitarnej w leśnictwie znana jest od wielu lat. Zastosowanie najnowocześniejszych technologii pomiarowych opartych na skanowaniu laserowym (*Light Detection and Ranging, LiDAR*), w tym naziemnego skanowania laserowego (*Terrestrial Laser Scanning*) w pracach związanych z dokonywaniem pomiarów w drzewostanach, została już dowiedziona przez wiele ośrodków naukowych z Europy i Ameryki Północnej (Bienert et al., 2006; Tompalski, Koziół, 2008; Watt, Donoghue 2005; Wężyk, 2006; Wężyk et al., 2007). Technologia TLS pozwala na zarejestrowanie w krótkim czasie (zaledwie kilku lub kilkunastu minut) niezmiernie dużej liczby punktów pomiarowych (tzw. chmura punktów) charakteryzujących się wysoką precyzją przestrzennej lokalizacji obiektów, powodujących odbicie wiązki lasera i jego rejestrację w detektorze skanera (Lefsky et al., 2002; Wehr, Lohr, 1999). Praktyczne zastosowanie TLS w inwentaryzacji leśnej polegać może m.in. na precyzyjnym określaniu: średnicy pnia drzewa w dowolnym miejscu, wysokości wierzchołka drzewa czy nasady korony, kształtu korony (przekroje) lub też miąższości pnia (Hopkinson et al., 2004; Király, Brolly 2010; Maas et al., 2008). Ponadto na podstawie analizy chmury punktów TLS możliwy jest pomiar dodatkowych cech, takich jak: zbieżystość, nachylenie czy krzywizna pnia (Thies et al., 2004). Parametrem niezmiernie istotnym z punktu widzenia m.in. hodowli i urządzania lasu jest zagęszczenie drzew, czyli ich liczba na jednostce powierzchni oraz rozkład przestrzenny tej cechy w pododdziale. Zagęszczenie drzew i zwarcie ich koron odgrywają zasadniczą rolę w kształtowaniu odpowiedniej struktury drzewostanu, pokroju drzewa czy nawet trwania następnych generacji (odnowienie), a przez odpowiednią ich modyfikację w okresie trwania drzewostanu kształtują jakość wytwarzanego drewna, co w efekcie końcowym wpływa na wynik ekonomiczny.

Metodyka

W prezentowanych badaniach wykorzystano chmury punktów TLS pozyskane za pomocą skanera naziemnego FARO LS 880 na pięciu kołowych powierzchniach próbnych (nr: 7÷11) rozlokowanych w 107-letnim drzewostanie sosnowym (Nadleśnictwo Milicz – 236a,

RDLP Wrocław). Stanowiska skanera były rozmieszczane w taki sposób, aby uzyskać jak najpełniejsze pokrycie punktami pomiarowymi wszystkich pni drzew znajdujących się na powierzchni próbnej (promień = 12,62 m, powierzchnia 500 m²). Wybrano wariant skanowania z czterech stanowisk, tj. pierwsze (S1) – położone centralnie oraz trzy następne (S2÷S4) na zewnątrz powierzchni. Dzięki takiej metodycy znacznie ograniczono efekt wzajemnego przesłaniania się drzew i uzyskano ich przestrzenny model 3D w granicach powierzchni badawczej. Skanowanie tylko jednego stanowiska centralnego niesie ze sobą ryzyko znacznego zaniżenia parametru liczby (zagęszczenia) drzew, ze względu na niemożliwe do przewidzenia sytuacje przesłaniania się drzew (poza schematycznymi nasadzeniami w rzędach; rys. 1; Tompański, Wężyk, 2009).



Rys. 1. Przykład tzw. „stref cieni” tworzonych przez pnie drzew
(widok z góry; Terrascan; pow. kołowa nr 10)

Pozyskane w terenie dane TLS poddawano filtracji w oprogramowaniu FARO Scene w celu usunięcia tzw. błędnych punktów (ang. *ghost points*) lub tych o niewielkiej wartości intensywności sygnału (ang. *intensity*). W kolejnym kroku, pojedyncze chmury punktów były ze sobą integrowane (łączone), tj. pasowane na sfery (kule) referencyjne rozmieszczone wewnątrz powierzchni kołowej (Wężyk et al., 2007). Chmura punktów TLS pochodząca z centralnej pozycji skanera została wskazana jako referencyjna i nadano jej współrzędne z pomiaru DGPS (XYZ, PUWG 1992). Dane wyeksportowano do formatu ASCII i zapisano w formacie LAS (ASPRS) w oprogramowaniu Terrascan (Terrasolid). Aby wyselekcjonować z chmury punktów wycinki (ang. *slice*) reprezentujące pień drzewa, należało w pierwszym kroku utworzyć numeryczny model terenu (NMT; ang. DTM). Następnie analizowane były tylko te punkty, które znalazły się w określonej odległości w pionie od NMT (Axelsson, 2000). W pracy prezentowane są jedynie analizy dla 4-centymetrowej grubości wycinka z przedziału: 1,28÷1,32 m nad gruntem, reprezentującego pierśnicę. Klasa (id: 1.3) była zapisywano do formatu ASCII i na jej podstawie generowano warstwę punktową (SHAPE ESRI). Procedura filtracji punktów i tworzenie poligonów reprezentujących pień, została w znacznym stopniu zautomatyzowana przez zastosowanie analiz przestrzennych GIS (analizy warstw wektorowych i rastrowych; ArcGIS ESRI 9.2; Kozioł, Wężyk, 2007). Proces decyzyjny prowadzący do określenia poprawnej liczby drzew wspomagany był przez zastosowanie dodatkowych wycinków z wysokości 6,0 m oraz 10,0 m od gruntu w sytuacji przesłaniania się pni drzew na wysokości 1,3 m, a tym samym braku punktów TLS lub bardzo małej ich liczby, nie dającej pewności w podjęciu decyzji. Dane referencyjne (liczba drzew/zagęszczenie) pozyskano na drodze manualnej wektoryzacji ekranowej chmury punktów z lotniczego skanowania laserowego. Na podstawie pierwszych odbić (FE) sygnału zarejestrowanego

przez lotniczy skaning laserowy (ang. ALS) wygenerowano numeryczny model powierzchni terenu (NMPT, ang. DSM – *Digital Surface Model*; inaczej CHM – *Crown Height Model*). Cyfrowa ortofotomapa w kompozycji CIR (*Color InfraRed*) powstała podczas skanowania TopoSys (Falcon II; true orthophoto; piksel 25 cm) została wzmocniona wartością intensywności NMPT, co pomogło znacznie operatorowi w interpretacji i wektoryzacji (SHAPE ESRI) zasięgu koron drzew na ekranie monitora.

Wyniki

Kluczowym etapem przeprowadzonego doświadczenia była edycja (filtracja) wygenerowanych wycinków chmury punktów TLS, a jej trudność polegała na określeniu czy dany punkt lub cała ich grupa należy do pnia drzewa, czy też powstała w wyniku rejestracji odbicia impulsu od gałęzi (ewentualnie fragmentów odstającej łuszczącej się kory) lub błędu samego skanera. W przypadku drzew znajdujących się w bliskiej odległości od skanera, szczególnie pni zeskanowanych z kilku stanowisk FARO, procedura filtracji i kontroli przebiegała z reguły poprawnie. W niektórych jednak przypadkach, problemy wynikały z niedostatecznej liczby punktów TLS tworzących obraz pnia. Najczęściej powodem była odległość skanowanego drzewa od urządzenia, co skutkowało spadkiem gęstości punktów. Dodatkowo zaznaczał się wpływ przesłaniania się wzajemnego pni drzew. Istniały sytuacje, kiedy w analizach nie wykrywano pni na wysokości 1,3 m od gruntu, co świadczyło o wpływie podszytu bądź sąsiednich drzew, gdyż kolejne wycinki na wysokościach np. 8,0 czy 10,0 m grunt były wykrywane. Drzewa najczęściej nie rosną idealnie pionowo, stąd w takich sytuacjach istnieje prawdopodobieństwo wykrycia drzewa w jego górnej części poniżej nasady korony, która jest słabiej przesłaniana przez pnie i gałęzie na niższych wysokościach lub w samych koronach (rys. 2).

Parametr zagęszczenia wyliczony metodą TLS analizowano standardowo dla powierzchni kołowej (odniesienie do standardowych procedur metod tradycyjnych) oraz dla poszczególnych



Rys. 2. Przykład wykorzystania kolejnych wycinków pnia w procesie detekcji pojedynczego drzewa w chmurze punktów TLS na powierzchni kołowej numer 10 w Nadleśnictwie Milicz

jej stref (co 50 m²) analizując charakter zmian powodowany losowym rozmieszczeniem drzew na powiększanej w kolejnych krokach powierzchni analizy. Maksymalny zasięg promienia analiz liczony od pozycji centralnej skanera wyniósł 51,6 m (powierzchnia 8360 m²).

Otrzymany w wyniku zautomatyzowanej analizy chmury punktów TLS zestaw danych, porównano następnie z danymi referencyjnymi określonymi manualnie na ortofotomapie i obrazie nDSM dla całego drze-

wostanu (pododdział 236a). Autorzy celowo nie używają określenia „błąd” w przypadku porównania obu metod, gdyż dane referencyjne nie są wolne od błędów interpretacji operatora. Sama metoda analizy zagęszczenia poza powierzchnią kołową, z samego jej założenia wydawała się ryzykowna, ze względu na optymalizację stanowisk skanera jedynie dla powierzchni kołowej o promieniu 12,62 m, a nie większym. Zdecydowano się jednak na porównanie zagęszczenia określanego metodą TLS do wartości tego parametru dla całego wydzielenia 236a, aby w ten sposób zaprezentować zmienność wynikającą z przypadkowości wyboru lokalizacji powierzchni próbnych. Wybór lokalizacji powierzchni kołowej może być dokonywany niezmiernie subiektywnie przez taksatora w terenie, który

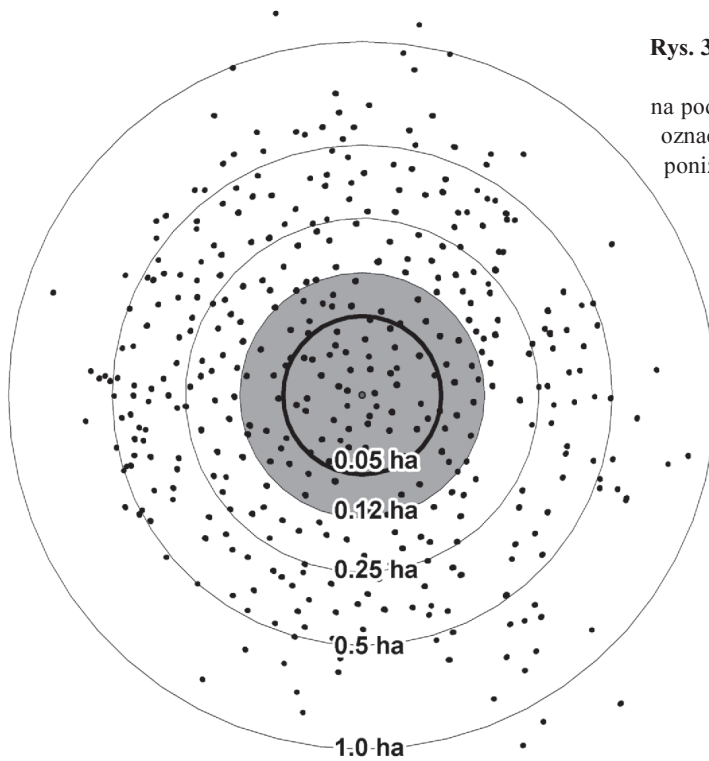
wybiera „na doświadczone oko” jaki fragment drzewostanu można uznać za reprezentujący całość wydzielenia. W sytuacji stosowania sieci powierzchni próbnych w regularnej więźbie, nie ma już wpływu na decyzję o modyfikacji lokalizacji i często otrzymane wyniki mogą być nieadekwatne do rzeczywistości, choć sama stochastyczna metoda w założeniu jest najbardziej obiektywna (przy dużej liczbie obserwacji). Analizując liczbę drzew wykrytych na powierzchni kontrolnej przeanalizowano jak zmienia się parametr zagęszczenia drzew w sytuacji gdyby powierzchnia była mniejsza lub nieznacznie większa (tab.1).

Okazuje się, iż 5-arowe powierzchnie kołowe ulokowane w 107 letnim drzewostanie sosnowym (rys. 3) z dużą dokładnością odzwierciedlają charakter całego pododdziału 236a, na którym średnie zagęszczenie operator określił na poziomie 690 szt. drzew na 1ha (błąd niedoszacowania na podstawie TLS około 2%). Wydaje się, że gdyby zwiększyć pole próbnej powierzchni kołowej z 500 do 600 m² ($r = 13,82$ m), to dla tego analizowanego fragmentu drzewostanu osiągnięto by idealną wartość ($\Delta n = 0$).

Różnice określania zagęszczenia drzew w drzewostanie techniką TLS oraz referencyjną ALS dla większej niż standardowej powierzchni 500 m² przedstawiono na wykresie (rys. 4). Dla metody TLS wyraźnie zauważalna jest tendencja spadku zagęszczenia drzew wraz ze wzrostem analizowanego promienia powierzchni kołowej (powiększaniem analizowanej powierzchni). Wartością progową, od której uwidaczniały się słabsze strony metody TLS, była odległość $r = 19,5$ m (różnica 5% liczby drzew; analizowana powierzchnia ok. 1200 m²). Wartości różnic metody TLS w stosunku do referencji osiągnęły: 10% dla promienia analizy 20,7 m, 20% dla $r = 27,9$ m, 30% dla $r = 36,6$ m; 40% dla $r = 43,5$ m i aż 50% dla $r = 51,2$ m. Jest to całkowicie zrozumiałe ze względu na zasłanianie się drzew i spadek gęstości punktów TLS na skanowanych obiektach wraz z odległością od urządzenia.

Tabela 1. Analiza parametru zagęszczenie w obrębie powierzchni kołowej i bezpośrednim sąsiedztwie

| Powierzchnia [m ²] | Promień powierzchni kołowej [m] | Zagęszczenie drzew TLS [szt./ha] | Referencja ALS [szt./ha] | Różnica [%] |
|--------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|--------------------------|-------------|
| 50 | 3,99 | 640 | 690 | -7,2 |
| 100 | 5,64 | 680 | | -1,4 |
| 150 | 6,91 | 707 | | +2,4 |
| 200 | 7,98 | 680 | | -1,4 |
| 250 | 8,92 | 704 | | +2,0 |
| 300 | 9,77 | 687 | | -0,5 |
| 350 | 10,56 | 686 | | -0,6 |
| 400 | 11,28 | 675 | | -2,2 |
| 450 | 11,97 | 644 | | -6,6 |
| 500 | 12,62 | 676 | | -2,0 |
| 550 | 13,23 | 662 | | -4,1 |
| 600 | 13,82 | 690 | | 0,0 |



Rys. 3. Przykład wygenerowanej mapy lokalizacji pni drzew na podstawie metody TLS; kolor szary oznacza obszar różnicy zagęszczenia poniżej 5% w stosunku do referencji



Rys. 4. Parametr zagęszczenia drzew określony metodą TLS (pow. 7–11) dla maksymalnego promienia 56,41m (1ha) powierzchni próbnej

Dyskusja i wnioski

Pomimo, iż zasięg skanera FARO LS 880 wynosił aż 76 m (Faro, 2007), to w warunkach analizowanego drzewostanu sosnowego, w strefie powyżej 19,54 m (analizowana powierzchnia ok. 1200 m²), różnica w określaniu zagęszczenia drzew przekroczyła 5% w stosunku do danych referencyjnych. Wynika to przede wszystkim z faktu wzajemnego przesłaniania się pni drzew oraz obecności podszytu, który również jest barierą dla promieni lasera. Należy podkreślić, iż parametr zagęszczenia drzew określany na większej powierzchni (> 500 m²) powinien lepiej reprezentować całe wydzielenie, jednak sposób rozmieszczenia stanowisk skanera nie był dla tego celu zoptymalizowany. Pozycje skanera mogłyby być oddalone bardziej od siebie i należałoby zwiększyć liczbę sfer referencyjnych (np. do 10÷15 szt.), jak i rozdzielczość samego skanowania, którą obniżono do 1/4 możliwości modelu FARO LS880. Lokalizacje stanowisk skanera były dobierane jedynie pod kątem standardowych procedur związanych z inwentaryzacją lasu na kołowych powierzchniach próbnych (500 m²). Można sądzić, iż czynnikiem który miał decydujący wpływ na dokładność określenia liczby drzew (tym samym zagęszczenia) było rozmieszczenie stanowisk skanera w drzewostanie, których lokalizacja była determinowana przez rozmieszczenie pni drzew na powierzchni kołowej. Rozszerzenie analiz poza standardową kołową powierzchnię próbną wskazuje, iż można wykorzystać pozyskane dane TLS w celu zwiększenia próby, co zapewnia większą powierzchnia pozyskania danych. Im większa powierzchnia próbna tym lepiej odzwierciedla ona charakter drzewostanu, jednak parametr zagęszczenia nie powinien być określany powyżej progowej wartości (około 19,5 m). Uzyskanie odpowiedzi na pytanie – czy skanować więcej mniejszych powierzchni czy też mniejszą liczbę większych obszarów – wciąż wydaje się niemożliwe bez odpowiednich danych referencyjnych i integracji wielu źródeł informacji, takich jak lotniczy skaning laserowy czy pomiar DGPS. Należy więc poszukiwać kompromisu pomiędzy liczbą oraz wielkością powierzchni próbnych reprezentujących drzewostan i wykorzystywać materiały dostępne w PODGiK (np. zdjęcia lotnicze, ortofotomapy, niebawem dane ALS) do optymalizacji wyboru skanowanych powierzchni przez analizę tekstury obrazu (np. segmentację). Nie powinno się też oczekiwać, iż technologia naziemnego skanowania laserowego (TLS) będzie w stanie samodzielnie dostarczyć precyzyjnych informacji o drzewostanie na dużym obszarze, gdyż realizacja takich oczekiwań, ze względu na dużą czasowo- i kosztochłonność, jest zarówno niemożliwa jak i niepotrzebna (niewielka zmienność struktury drzewostanów w lasach gospodarczych). Problem pozyskiwania szczegółowej informacji dla dużych obszarów w szybkim czasie został częściowo rozwiązany za pomocą technologii lotniczego skaningu laserowego (ALS), wspartego zintegrowanym pozyskiwaniem lotniczych zdjęć cyfrowych czy innych zdalnych obrazowań. Optymalny wybór fragmentów drzewostanów do skanowania TLS powinien się więc odbywać na podstawie analizy chmury punktów ALS (Będkowski, Stereńczak 2008; Wężyk et al., 2008) oraz obrazów lotniczych, a dopiero skanowane w terenie powierzchnie kołowe mogą dać bardzo szczegółową informację wykorzystywaną do konstrukcji różnych modeli rozwoju drzewostanów.

Literatura

- Axelsson P., 2000: DEM generation from laser scanner data using adaptive TIN models. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing* Vol. XXXIII/4B, Amsterdam. p. 203-210.
- Będkowski, K., Stereńczak, K. 2008. Przestrzenny rozkład punktów odbić impulsów skanera laserowego a wybrane cechy drzewostanu. *Roczniki Geomatyki* t.6, z.8, 55-60. PTIP, Warszawa.
- Bienert, A., Scheller, S., Keane, E., Mullooly, G., Mohan, F., 2006: Application of terrestrial laserscanners for the determination of forest inventory parameters. [In:] Maas H.-G., Schneider D. (eds.), *Image Engineering*

- and Vision Metrology. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Dresden.
- Faro, 2007: FARO Laser Scanner LS – Brochure.
- Hopkinson, C., Chasmer, L., Young-Pow, C. i Treitz, P., 2004: Assessing forest metrics with a ground-based scanning lidar. *Canadian Journal of Forest Research*, 34(3): 573-583.
- Király, G., Brolly, G., 2010: Volume calculations of single trees based on terrestrial laser scanning, Silvilaser 2010, Freiburg, Germany.
- Kozioł K., Wężyk P., 2007: Zastosowanie algorytmu Delanuay'a w eliminacji i klasyfikacji chmury punktów z naziemnego skaningu laserowego. *Roczniki Geomatyki*. t. 5, z. 5, 33-41. PTIP, Warszawa.
- Lefsky, M.A., Cohen, W.B., Parker, G.G., Harding, D.J., 2002: Lidar Remote Sensing for Ecosystem Studies. *BioScience*, 52/1: 19-30.
- Maas, H.G., Bienert, A., Scheller, S., Keane, E., 2008: Automatic forest inventory parameter determination from terrestrial laser scanner data. *International Journal of Remote Sensing*, 29(5): 1579-1593.
- Mozgawa J., 2007: Potrzeby inwentaryzacyjne leśnictwa a możliwości ich realizacji wybranymi technikami geomatycznymi. [W:] Zawila-Niedźwiecki T., Zasada M. (red.) Techniki geomatyczne w inwentaryzacji lasu – potrzeby i możliwości. Wydawnictwo SGGW. 7-30.
- Thies, M., Pfeifer, N., Winterhalder, D. i Gorte, B.G.H., 2004: Three-dimensional reconstruction of stems for assessment of taper, sweep and lean based on laser scanning of standing trees. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 19(6): 571-581.
- Tompalski, P., Kozioł, K., 2008: Określanie wybranych cech drzew za pomocą naziemnego skaningu laserowego, Krakowska Konferencja Młodych Uczonych, Kraków.
- Tompalski P., Wężyk P., 2009: Wady i zalety automatycznego określania liczby drzew oraz pierścieniowego pola przekroju sosny zwyczajnej jednonastanowiskową metodą naziemnego skanowania laserowego. [W:] Wielokierunkowość badań w rolnictwie i leśnictwie. Monografia 2009. Tom 1. Wydawnictwo Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, 313-322.
- Watt, P.J., Donoghue, D.N.M., 2005: Measuring forest structure with terrestrial laser scanning. *International Journal of Remote Sensing*, 26(7): 1437-1446.
- Wehr, A., Lohr, U., 1999: Airborne laser scanning an introduction and overview. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 54(2-3): 68-82.
- Wężyk, P., 2006. Wprowadzenie do technologii skaningu laserowego w leśnictwie. *Roczniki Geomatyki*, t. 4, z. 4, 119-132. PTIP, Warszawa.
- Wężyk, P., Kozioł, K., Glista, M., Pierzchalski, M., 2007. Terrestrial laser scanning versus traditional forest inventory. First results from the polish forests. In: P. Rönnholm, H. Hyyppä i J. Hyyppä (Editors), ISPRS Workshop on Laser Scanning 2007 and SilviLaser 2007. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Espoo, Finland, pp. 424-429.
- Wężyk P., Tompalski P., Szostak M., Glista M., Pierzchalski M., 2008: Describing the selected canopy layer parameters of the Scots pine stands using ALS data. [In:] 8th international conference on LiDAR applications in forest assessment and inventory. SilviLaser 2008. Sept. 17-19. 2008 - Edinburgh, UK. pp. 636-645.

Abstract

Modern multifunctional forestry model requires accurate knowledge of the amount of wood stock, which is controlled by means of forest inventory. One of many important forest parameters is density understood as the number of trees per area unit (1ha). This paper presents a method for defining this parameter with the use of terrestrial laser scanning data (TLS), based on data from one or a couple of scans (circular plot). The analysis was performed on 5 plots located in 107 year old pine stand (Milicz Forest District), on which TLS data was collected with the use of FARO LS 880. The results are highly correlated with ground-truth data from forest inventory. Increasing the radius of the analysis outside the borders of study plot leads to lowering of the density parameter, which is mainly caused by the shadowing effect. The maximum measurement distance of the FARO scanner is equal to 76m but stems and understory are limiting this value. Over 20m ($r=19,54m$; $1200m^2$) the errors of the TLS method exceed 5%. Further work of the authors is directed at selecting statistically representative TLS plots based on Airborne Laser Scanning.

dr inż. Piotr Wężyk
rlwezyk@cyf-kr.edu.pl

geo.ur.krakow.pl

mgr inż. Piotr Tompalski
piotr.tompalski@ur.krakow.pl