

NOWE KIERUNKI POMIARU LASU Z WYKORZYSTANIEM NARZĘDZI TELEDETEKCYJNYCH

NEW DIRECTIONS IN FOREST INVENTORY WITH THE USE OF REMOTE SENSING

Tomasz Zawila-Niedźwiecki¹, Stanisław Miścicki², Michał Zasada²,
Agata Wencel³

¹ Wydział Leśny, Uniwersytet Nauk Stosowanych, Eberswalde

² Wydział Leśny, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego

³ Wydział Leśny, Akademia Rolnicza w Poznaniu

Słowa kluczowe: inwentaryzacja lasu, geomatyka, lidar naziemny, lidar lotniczy, LAI, zdjęcia hemisferyczne, system kartowania mobilnego

Keywords: forest inventory, geomatics, terrestrial laser scanning, airborne laser scanning, LAI, hemispherical photographs, Mobile Mapping System

Wstęp

Prowadzenie zrównoważonej gospodarki leśnej wymaga oparcia się o pełną i wszechstronną informację o lesie. Dlatego też współczesne zarządzanie lasu musi polegać na dokładnych metodach pomiaru lasu. Z jednej strony wymaga to doskonalenia statystycznych podstaw metod pomiaru, z drugiej zaś – stosowania nowych, dokładniejszych i wydajniejszych technik pomiaru drzew i drzewostanów.

Wychodząc z takiego założenia, w kwietniu 2006 roku Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych zleciła Wydziałowi Leśnemu Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego wykonanie pracy naukowo-badawczej *Opracowanie metody inwentaryzacji lasu opartej na integracji danych pozyskiwanych różnymi technikami geomatycznymi*. Jej celem jest wyselekcjonowanie sposobów zdalnej rejestracji obrazu lasu użytecznych w leśnictwie oraz opracowanie metody inwentaryzacji lasu opartej na wybranych technikach geomatycznych, takich jak: lidar (naziemny i lotniczy), zdjęcia hemisferyczne, zdjęcia cyfrowe naziemne i lotnicze, system kartowania mobilnego, wysokorozdzielcze zdjęcia satelitarne. Zamiarem podjętych badań jest opracowanie obrębowej metody pomiaru lasu dla potrzeb planowania okresowego z wykorzystaniem technik geomatycznych. Planowana metoda ma na celu nie tylko określenie aktualnego stanu lasu, ale powinna również uwzględniać możliwość prowadzenia prognozy rozwoju zasobów. Ten kompleksowy program realizowany będzie przez wielodyscyplinarny

zespół, który podejmie próbę opracowania metod inwentaryzacji lasu opartych na nowoczesnych danych geomatycznych.

Analizy będą prowadzone w odniesieniu do cech inwentaryzacyjnych drzewostanów, określonych metodą pomiarów terenowych. Poszukiwane będą nowe kierunki inwentaryzacji z wykorzystaniem współczesnych narzędzi teledetekcyjnych. Założeniem pracy jest by nowa metoda wykorzystywała techniki geomatyczne w powiązaniu z SILP, leśną mapą numeryczną i modelami symulacyjnymi. Wykorzystywane będą wyniki prac badawczych dotyczących geomatyki, finansowanych równolegle przez DGLP, Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego i Unię Europejską.

Planowany zakres prac badawczych

Proponowane badania obejmą:

- konfrontację potrzeb dotyczących inwentaryzacji lasu z aktualnymi możliwościami teledetekcji,
- selekcję rozwiązań technicznych i stosowanych typów zobrazowań,
- organizację badań empirycznych na wybranych poligonach badawczych,
- pomiary terenowe, obrazowanie z poziomu terenowego, lotniczego i satelitarnego,
- analizę pozyskanych danych w SIP,
- wnioskowanie dotyczące użyteczności poszczególnych typów zobrazowań, ich dokładności i dostępności (możliwości stosowania operacyjnego, mobilność sprzętu, jego użyteczność w warunkach terenowych),
- opracowanie koncepcji metodyki zastosowań praktycznych,
- analizę ekonomiczną,
- opracowanie scenariuszy aplikacji.

Prace realizowane będą wykorzystując dane zbierane z następujących poziomów:

1. Dane referencyjne – inwentaryzacja terenowa, fotogrametria naziemna
2. Dane naziemne
 - lidar
 - zdjęcia hemisferyczne
 - wskaźnik powierzchni projekcyjnej liści (*Leaf Area Index-LAI*)
 - system kartowania mobilnego (*Mobile Mapping System-MMS*)
3. Dane lotnicze
 - lidar
 - wielospektralne zdjęcia cyfrowe
4. Dane satelitarne

Jest to pierwsza w Polsce próba zintegrowanego wdrażania fragmentarycznych dotychczas badań nad wykorzystaniem szczególnych technik geomatycznych. Zamiarem wykonawców jest sprawdzenie możliwości kompleksowego ich wykorzystania. Wyniki tej pracy dadzą odpowiedź, czy jest to możliwe, celowe i korzystne ze względów ekonomicznych. Mając na uwadze obszerny zakres prac zaproponowano podzielenie go na etapy.

Etap I

Pierwszy etap prac (2006–2008) – projekt pilotowy – proponuje się poświęcić na:

I.1. Analizę potrzeb inwentaryzacji lasu w zestawieniu ze współczesnymi narzędziami teledetekcyjnymi.

I.2. Przeprowadzenie prac pilotowych dotyczących zastosowania danych optycznych (lidarowych, zdjęć hemisferycznych oraz zdjęć wykonywanych kamerami cyfrowymi, a także rozpocząć pracę nad wysokorozdzielczymi zdjęciami satelitarnymi) na poligonach badawczych.

Etap ten zakończyłby się:

- opracowaniem propozycji zastosowania wyselekcjonowanych technik teledetekcyjnych w inwentaryzacji lasu,
- wstępną analizą ekonomiczną proponowanych rozwiązań,
- wskazówkami dotyczącymi dalszych prac nad proponowanymi rozwiązaniami (ukierunkowanie II etapu prac nad stosowaniem danych geomatycznych w praktyce leśnej, uwzględniających nowości techniczne tej szybko rozwijającej się dziedziny).

Etap II

Drugi etap (od 2008) poświęcony by był następującym zagadnieniom:

II.1. Przetestowanie technik radarowych (zarówno lotniczych, jak i satelitarnych).

II.2. Kontynuacja prac nad danymi optycznymi, bazując na wynikach etapu I.2. - uszczegółowienie metod, przeprowadzenie analiz dla poligonów o innych warunkach przyrodniczych.

II.3. Kontynuacja prac nad satelitarnymi zdjęciami optycznymi.

II.4. Wytyczne dla praktyki leśnej.

Projekt pilotowy (2006–2008)

Obecne zlecenie DGLP obejmuje zakres etapu I. Będzie on realizowany na poligonie badawczym zlokalizowanym w Nadleśnictwie Milicz z wykorzystaniem wyników innych badań prowadzonych w Nadleśnictwie Chojna (IBL, finansowane przez Lasy Państwowe), Nadleśnictwie Rogów (SGGW, finansowane przez MNiSW) i Nadleśnictwie Świeradów (inicjatywa Nadleśnictwa, finansowana przez fundusz Inicjatywy Wspólnotowej – Interreg).

Prace będą prowadzone dwutorowo. Z jednej strony uwzględnione zostaną możliwości zastosowania technik zdalnych do dokładnego określania cech drzewostanów na powierzchniach próbnych, z drugiej zaś - możliwości użycia technik geomatycznych do warstwowania drzewostanów (dostarczenie cechy pozwalającej na znaczne ograniczenie zmienności miąższości w obrębie warstw tworzonych podczas inwentaryzacji zasobów) oraz do lepszego propagowania pomierzonych parametrów na pozostałe drzewostany (rozdział całkowitej miąższości obrębu na poszczególne drzewostany, co obecnie prowadzi się w oparciu o równania regresji).

Prace odbywać się będą według następujących założeń ogólnych:

1. Wykorzystane zostaną dane z 284 istniejących powierzchni próbnych.
2. Planuje się założenie 30 nowych referencyjnych powierzchni próbnych (zakres inwentaryzacji: gatunek drzewa, pierśnica, wysokość, azymut i odległość od środka powierzchni próbnej, wysokość podstawy korony, szerokość korony, rzut korony, grubość na 5 metrach, zdjęcia stereoskopowe).
3. Analizy obrazowań lotniczych (lidar i zdjęcia wielospektralne) dokonywane będą w odniesieniu do 284 istniejących powierzchni próbnych.
4. Analizy obrazowań terenowych (lidar, zdjęcia hemisferyczne, LAI, MMS) dokonywane będą w odniesieniu do referencyjnych powierzchni próbnych.
5. Analizy wykonywane w relacji do LMN w pierwszej kolejności będą się odnosić do parametrów mierzonych na powierzchniach próbnych podczas okresowych inwentaryzacji lasu, a w dalszych analizach powinny być rozszerzane o inne parametry, z uwzględnieniem:
 - możliwości określenia parametrów drzew (gatunek, pierśnica, wysokość, średnice na różnych wysokościach) i drzewostanów (stopień zagęszczenia, przeciętna wysokość, zwarcie, skład gatunkowy, forma zmieszania) na podstawie danych obrazowych,
 - dokładności pomiarów na danych obrazowych,
 - opracowania algorytmów przetwarzania i analizy danych obrazowych,
 - dyskusji możliwości potencjalnego zastosowania technik zdalnych do pomiaru lasu dla celów inwentaryzacji okresowej.

W ramach omawianego projektu wykonywane będą prace stanowiące nawiązanie do wyników badań innych ośrodków, z którymi utrzymywane są ścisłe kontakty. Od kilku lat obserwuje się wzrost zainteresowania skanowaniem laserowym. Laser (*Light Amplification by Stimulated Emissions of Radiation* – wzmocnienie światła przez wymuszoną emisję promieniowania), nazywany też wzmacniaczem optycznym, to urządzenie generujące lub wzmacniające spójne promieniowanie elektromagnetyczne w zakresie między ultrafioletem a podczerwienią. Laser jest podstawą działania lidara (*Light Detection And Ranging*), który jest aktywnym systemem zdalnego pozyskiwania informacji, wykorzystującym skoncentrowaną wiązkę promieni świetlnych (laserowych). Wiązka wysłana w kierunku obiektu ulega od niego odbiciu (i rozproszeniu), a wiązka zwrotna jest rejestrowana i następnie analizowana. Analiza własności powracającej wiązki światła umożliwia charakteryzowanie obiektów, od których uległa ona odbiciu. Pomiary czasu od wysłania do powrotu promieniowania, jego natężenia i polaryzacji służą określeniu odległości od źródła promieniowania do obiektu oraz parametrów obiektu.

Analiza wyników światowych badań dotyczących zastosowania technologii laserowej w leśnictwie

Zobrazowania lidarowe można pozyskiwać z pułapu lotniczego, satelitarnego oraz terenowego (tzw. skaning lotniczy, satelitarny oraz terenowy). Większość opublikowanych prac związanych z technologią laserową w leśnictwie dotyczy zastosowań skaningu lotniczego. Związane jest to przede wszystkim ze spodziewanymi korzyściami wynikającymi z zastosowania tej techniki. Szczególnie obiecujące są wyniki integracji danych zebranych lidarem z informacjami pochodzącymi z zastosowania innych technik teledetekcyjnych. Skaning lotniczy pozwala na uzyskanie dość dokładnych informacji dotyczących obiektów leśnych na dużych obszarach.

Naziemny skaning laserowy może znaleźć zastosowanie przede wszystkim przy określaniu cech pojedynczych drzew na powierzchniach próbnych. Dotyczy to przede wszystkim położenia drzewa w drzewostanie, grubości drzewa na różnych wysokościach (w tym pierśnicy), wysokości, wysokości osadzenia korony, liczby gałęzi i ich grubości, uszkodzeń pnia, itd. Skaning naziemny pozwala również na określenie cech dotyczących drzewostanu, przede wszystkim zagęszczenia drzew oraz cech związanych z aparatem asymilacyjnym (np. powierzchni projekcyjnej liści – LAI). Dane pochodzące z zastosowania lidara naziemnego służyć mogą również do określenia cech pochodnych (np. pierśnicowego pola przekroju czy miąższości drzew i drzewostanów) oraz do budowy modeli pozwalających na uzyskanie pełniejszej informacji o lesie (np. modeli kształtu podłużnego). Potencjalny zestaw danych możliwych do pozyskania na powierzchni próbnej za pomocą skanera laserowego daje znacznie większe możliwości określania cech drzew i analizy struktury drzewostanu, niż tradycyjne pomiary naziemne. Analizy wymaga jednak nie tylko dokładność uzyskiwanych wyników, ale przede wszystkim koszt wykonania tych pomiarów.

Dostępne na rynku skanery naziemne posiadają różne, często odmienne specyfikacje i charakterystyki. Według różnych autorów (Bienert i in., 2006), skaner laserowy odpowiedni do zastosowania w naziemnym pomiarze lasu powinien charakteryzować się następującymi cechami:

- możliwość panoramicznej rejestracji obrazu (360° horyzontalnie i maksymalizacja zasięgu wertykalnego),
- zasięg maksymalny 20–100 metrów,
- rejestracja co najmniej 10 000 punktów na sekundę (częstotliwość pracy min. 10 kHz),
- dokładność pomiaru nie mniejsza niż 10 mm.

Obróbka danych zebranych przy pomocy naziemnego skanera laserowego może odbywać się automatycznie lub przy udziale człowieka. Największe szanse na praktyczne zastosowanie mają metody pozwalające na automatyczną identyfikację drzew oraz na automatyczne lub półautomatyczne wykonywanie pomiarów i analiz.

Uzyskane do tej pory wyniki badań nad zastosowaniem techniki laserowej do pomiaru lasu wskazują ponadto na zdecydowaną przewagę dokładności wyników uzyskanych z analizy wielu źródeł danych: tak różnych danych uzyskanych ze skaningu naziemnego (np. jednoczesne wykorzystanie informacji z obrazów odległości i intensywności odbicia), jak i danych ze skaningu laserowego połączonych ze zdjęciami naziemnymi i lotniczymi, skanin-giem lotniczym i innymi technikami teledetekcyjnymi (Haala i in. 2004; Chasmer i in., 2004).

W wyniku zastosowania naziemnego skanera laserowego uzyskuje się dane o różnym charakterze. Są to głównie (Aschoff i in., 2004):

- obraz intensywności,
- obraz odległości,
- trójwymiarowy obraz powierzchni próbnej.

Dane te – zanim staną się podstawą do określania poszczególnych cech drzew i drzewostanów – podlegają wstępnej obróbce mającej na celu odfiltrowanie błędów. Kolejne kroki obróbki danych obejmują:

- utworzenie modelu trójwymiarowego,
- automatyczne zidentyfikowanie poszczególnych drzew i ustalenie ich położenia,
- pomiary wysokości i grubości.

Podstawowe problemy obróbki zebranych danych to: zasłanianie obiektów dalszych przez bliższe oraz różnice we współrzędnych uzyskanych dla różnych obrazów. Jako rozwiązanie tych problemów wskazuje się wykonanie zobrazowań z więcej niż jednego punktu oraz zastosowanie odpowiednich algorytmów znajdowania środka pnia drzewa, synchronizacji poszczególnych obrazów oraz pomiaru grubości wykonywanych na podstawie nałożonych na siebie fragmentów drzew z różnych obrazów (Henning i Radke, 2003).

Automatyczny proces identyfikacji drzew oparty jest zwykle na analizie poziomych wycinków danych pochodzących ze skanera. W analizie danych stosuje się transformację punktów (np. dwuwymiarową transformację Hough-a) oraz wpasowanie łuków lub okręgów w grupy punktów. Grupę punktów przyjmuje się jako drzewo jeżeli promień łuku lub wpisanego okręgu jest większy, niż minimalna wartość graniczna oraz gdy odchylenie standardowe δ odległości punktów od łuku lub okręgu jest mniejsze niż ustalona maksymalna wartość δ_{\max} . Środek okręgu definiuje współrzędne zidentyfikowanego drzewa. Opisany powyżej sposób może być zastosowany zarówno w przypadku skaningu przeprowadzonego z kilku punktów (kiedy dysponujemy danymi definiującymi pełen okrąg), jak i do wyników pojedynczego skanu dostarczającego około 160° przekroju poprzecznego drzewa (Simonse i in., 2003; Hopkinson i in., 2004; Bienert i in., 2006). Z kolei Pfeifer i Winterlander (2004) oraz Pfeifer i in. (2004) opisali metodę automatycznego wyodrębniania drzew z trójwymiarowej chmury punktów za pomocą dopasowywania kolejnych walców do pnia. Dopasowanie oparte było na estymacji wykonanej nieliniową metodą najmniejszych kwadratów.

Automatyczna identyfikacja drzew na podstawie skanów laserowych pozwala między innymi na określenie zagęszczenia drzew w drzewostanie (Hopkinson i in., 2004), a zatem stanowić może źródło informacji do stosowania modeli wzrostu jako narzędzi wspomagających pomiar lasu (Bruchwald, 2002; 2004).

Dokładność poszczególnych pomiarów zależy od składu gatunkowego i przestrzennej struktury lasu. Bienert i in. (2006) podają, że wszystkie drzewa na powierzchniach próbnych założonych w lesie mieszanym na terenie Saksonii zostały poprawnie zidentyfikowane na podstawie skaningu wykonanego z dwóch pozycji. Hopkinson i in. (2004) uzyskali dokładność identyfikacji drzew na poziomie 95–97% oraz średnio dwumetrowe przesunięcie lokalizacji drzew. Z kolei Thies i Spiecker (2004) raportują stosunkowo niewielki procent drzew zidentyfikowanych na podstawie skaningu laserowego: dla pojedynczych skanów wyniósł on 22%, a dla wielokrotnego skaningu – 52%, a jednocześnie wskazują na bardzo dokładne określenie współrzędnych poszczególnych drzew. Wyniki te uzyskane jednak zostały na powierzchni próbnej założonej w drzewostanie mieszanym o złożonej strukturze pionowej, położonym na stromym stoku. Autorzy twierdzą, że w przypadku zastosowania skaningu laserowego w drzewostanach o prostszej strukturze, wyniki powinny być znacznie lepsze.

Wysokość drzewa na podstawie skaningu laserowego określa się jako różnicę między położeniem najwyższego punktu należącego do chmury punktów definiujących drzewo a modelem terenu. Akceptuje się przy tym fakt, że wysokość ta może być określona z błędem wynikającym z co najmniej dwóch czynników:

- najwyższy punkt nie zawsze reprezentuje wierzchołek drzewa,
- teren otaczający drzewo może być lepiej zdefiniowany, zwłaszcza w przypadku terenu mocno pofalowanego.

W gęstych drzewostanach wysokość jest elementem trudnym do bezpośredniego zmierzenia przy pomocy skanera. W takiej sytuacji często określa się wysokość drzew pośred-

nio, wykorzystując modele zbieżności dopasowane do serii pomiarów grubości drzewa na różnych wysokościach oraz metody numeryczne pozwalające na znalezienie wysokości w sytuacji, gdy poszukiwana wysokość jest jednocześnie informacją wejściową dla modelu zbieżności (Thies i Spiecker, 2004; Aschoff i in., 2004).

W badaniach Bienerta i in. (2006) różnice w pomiarach wysokości dwóch drzew wyniosły 0,22 m i 1,47 m, zaś średni błąd (RMS) dla czterech drzew wyniósł 80 cm. Autorzy wyrażają jednak wątpliwości związane z dokładnością danych referencyjnych, stąd na podstawie przytoczonych wyników nie można wyciągnąć żadnych wniosków. Thies i Spiecker (2004) określali wysokości drzew przy pomocy dopasowania modeli zbieżności. Średnio wysokość drzew była większa o 7% od wysokości mierzonej wysokościomierzem. Jednak odchylenie standardowe określania wysokości równe 5,6 metra oraz poszczególne wysokości wahające się od 54,6 do 190,7% wartości rzeczywistej autorzy uznali za zbyt duże, by pomiary te zastosować w praktycznej inwentaryzacji lasu. Hopkinson i in. (2004) uzyskali wysokości drzew określone na podstawie danych ze skanera laserowego zaniżone średnio o 1,5 m, to jest ok. 7% średniej wysokości. Autorzy tłumaczą ten błąd niską gęstością próbkowania w górnej części warstwy drzew spowodowaną zasłanianiem obrazu wierzchołków przez niższe warstwy drzewostanu oraz parametrami zastosowanego skanera.

Zaletą analiz skanów laserowych jest możliwość określania nie tylko pierśnicy, ale także grubości drzewa na różnych wysokościach. Standardowe oprogramowania dostarczane wraz ze skanerem pozwalają na dokonywanie takich pomiarów. Źródłem danych są w takim przypadku obrazy intensywności odbicia. Proces automatycznego określania pierśnicy może wykorzystywać te same algorytmy, jakie są stosowane w procesie identyfikacji drzew przy pomocy wpasowywania okręgów (Simonse i in., 2003). Stosowane jest również wpasowywanie walca w wycinek chmury punktów wyodrębniony między dwoma przekrojami pnia położonymi poniżej i powyżej pierśnicy (Hopkinson i in., 2004). Określanie grubości drzewa na różnych wysokościach jest prostym rozszerzeniem określania pierśnicy drzewa (Aschoff i Spiecker, 2004). Dysponowanie grubościami na różnych wysokościach umożliwia precyzyjne określanie miąższości drzewa oraz budowę modelu kształtu podłużnego (*taper model*).

Bienert i in. (2006) podają, że odchylenie standardowe pierśnic drzew na powierzchniach próbnych założonych w lesie mieszanym na terenie Saksonii, uzyskanych za pomocą zastosowanej procedury wpasowania okręgów, wyniosło 0,5 cm, a odchylenie standardowe różnic pomiędzy grubościami uzyskanymi ze skanera i przy pomocy średnicomierza wyniosło średnio 1,5 cm. Uzyskane grubości okazały się średnio za duże, co tłumaczyć można średnicą wiązki lasera. Błąd ten może zostać w przyszłości wyeliminowany przez zastosowanie współczynnika korekcyjnego zależnego od odległości od drzewa i charakterystyki wiązki. Poza wyznaczeniem pierśnicy autorzy określili grubości pnia na różnych wysokościach, jednak nie została wykonana żadna analiza uzyskanych wyników.

Henning i Radke (2003) przetestowali dokładność określania grubości na różnych wysokościach pni drzew. Różnice między grubościami uzyskanymi z pomiaru średnicomierzem i na podstawie skaningu laserowego wahały się – w zależności od wysokości pomiaru – od +1,32 do - 2,76 cm i wynosiły średnio (dla czterech drzew próbnych) od -1,56 do -0,36 cm. Oznacza to, że wyniki uzyskane za pomocą skanera są – podobnie jak w badaniach Bienerta i in. (2006) – średnio zawyżone.

Hopkinson i in. (2004) uzyskali dość dużą dokładność określania pierśnicy drzew na powierzchniach próbnych, bez żadnej tendencji do zawyżania lub zaniżania wyników. Zauważyli oni również paradoksalną sytuację: zmienność pomiarów wykazała, że na podstawie



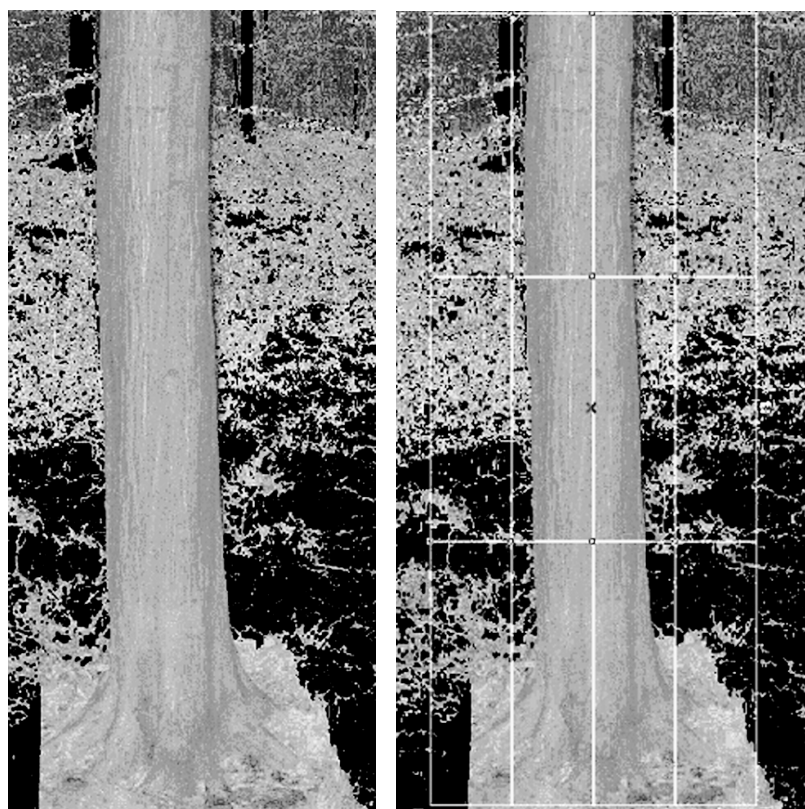
Rys. 1. Zdjęcie fotograficzne powierzchni próbnej w Nadleśnictwie Milicz (źródło: FARO)



Rys. 2. Obraz tej samej powierzchni utworzony z chmury punktów zarejestrowanych przez skaner laserowy (źródło: FARO)



Rys. 3. Obraz utworzony z chmury punktów zarejestrowanych przez skaner laserowy (źródło: FARO)



Rys.4. Schemat pomiarów drzew na podstawie danych lidarowych (zdjęcie: FARO)

danych ze skanera laserowego trudniej było dokładnie określić pierśnicę w jednorodnym drzewostanie iglastym, niż w mocno zróżnicowanym mieszanym drzewostanie liściastym.

Thies i Spiecker (2004) opisali wyniki pomiaru pierśnic drzew na podstawie różnych wariantów naziemnego skaningu laserowego. Największe różnice (od 82,3 do 109,5% – średnio 4,1%) zaobserwowali oni dla pierśnic uzyskanych na podstawie pojedynczego skanu. Nieco mniejsze średnie różnice –3,5% (90–103,4%) otrzymali dla pierśnic określanych ręcznie na podstawie obrazów intensywności. Średnio najlepsze wyniki (1,3%) uzyskano określając pierśnice automatycznie na podstawie pięciu skanów, jednak zakres zmienności uzyskiwanych wyników był w tym przypadku bardzo duży (84,0–111,6%). Autorzy tłumaczą, podobnie, jak Watt i in. (2003), że zaniżanie pierśnicy określonej na podstawie wyników z pojedynczego skanu oraz z obrazów intensywności wynika z niedokładnych pomiarów odległości i intensywności uzyskanych przez kierowanie wiązki lasera na zewnętrzną część pnia mającego kolistą przekrój poprzeczny. Z powodu położenia skanera względem obwodu pnia, tylko około 30% obrazu pierśnicy charakteryzuje się jednakową intensywnością odbicia, podczas gdy zewnętrzna jego część jest niejednorodna. Z kolei dopasowanie okręgu jest w większym stopniu zdeterminowane przez powierzchnię pnia położoną najbliżej skanera. Wyniki automatycznego pomiaru pierśnicy są satysfakcjonujące i zbliżone do wyników Hopkinsona i in. (2004) oraz Simonse i in. (2004).

Jednym z głównych źródeł błędów określania pierśnicy drzewa są błędy NMT, względem którego określa się wysokość położenia pomiaru. W celu wyeliminowania tych błędów, w wielu przypadkach przed wykonaniem zobrazowania powierzchni próbnej pierśnicę oznacza się taśmą, która jest dobrze widoczna na uzyskanym obrazie (np. Thies i Spiecker, 2004).

Pomiary eksperymentalne

Po przeanalizowaniu dostępnej na rynku europejskim aparatury, 26–28 kwietnia 2006 roku, na terenie Nadleśnictwa Milicz przeprowadzono eksperymentalne pomiary wybranych powierzchni próbnych z wykorzystaniem lidara terenowego firmy FARO, kamery z obiektywem hemisferycznym oraz MMS. Rysunki 1, 2 i 3 umożliwiają porównanie zdjęcia fotograficznego fragmentu lasu z jego obrazem utworzonym na podstawie chmury punktów zarejestrowanych przez skaner laserowy, a na rysunku 4 przedstawiono schematycznie zasadę dokonywania pomiarów na odpowiednio przetworzonych zdjęciach i modelach trójwymiarowych.

Zakończenie

Realizację tematu naukowo-badawczego „Opracowanie metod inwentaryzacji lasu opartej na integracji danych pozyskiwanych różnymi technikami geomatycznymi” (etap I – projekt pilotowy) zaplanowano na 2 lata.

Prace rozpoczęto w marcu 2006 roku, ale już w pierwszej połowie 2007 roku oczekiwane są wstępne wyniki, dotyczące wykorzystania skaningu terenowego i lotniczego.

Literatura

- Aschoff T., Spiecker H., 2004: Algorithms for the Automatic Detection of Trees in Laser-Scanner Data. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XXXVI, Part 8/W2.
- Aschoff T., Thies M., Spiecker H., 2004: Describing forest stands using terrestrial laser-scanning. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* Vol. XXXV, Comm. 5, pp. 237-241.
- Bienert A., Maas H.-G., Scheller St., 2006: Analysis of the information content of terrestrial laserscanner point clouds for the automatic determination of forest inventory parameters. In: Koukal, T., Schneider, W. (eds.) Proceedings of the International Workshop 3D Remote Sensing in Forestry, Vienna, February 14-15, 2006: pp. 44-49.
- Bruchwald A., 2002: Modele wzrostu i SIP jako narzędzie prognozowania decyzji gospodarczych na wszystkich szczeblach zarządzania. Ekspertyza (maszynopis) wykonana w ramach tematu DGLP „Analizy przestrzenne, optymalizacja i symulacje przestrzenne w zarządzaniu LP z uwzględnieniem standardów LMN na poziomie nadleśnictwa, rdLP i DGLP.
- Bruchwald A., 2004: Metody modelowania matematycznego przy sporządzaniu planu urządzania lasu. Urządzenie lasu wielofunkcyjnego. Fundacja Rozwój SGGW. s. 171-180.
- Chasmer L., Hopkinson C., Treitz P., 2004: Assessing the three-dimensional frequency distribution of airborne and ground-based lidar data for red pine and mixed deciduous forest plots. Source unknown.
- Fröhlich C., Mettenleiter M., 2004: Terrestrial laser scanning – new perspectives in 3D surveying. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XXXVI, Part 8/W2: pp. 7-13.
- Gorte B., Pfeifer N., 2004: Structuring laser-scanned trees using 3D mathematical morphology. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. XXXV, B5, pp. 929-933
- Gorte B., Winterhalder D., 2004: Reconstruction of Laser-Scanned Trees using Filter Operations in the 3D Raster Domain. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XXXVI, Part 8/W2.
- Haala N., Reulke R., Thies M., Aschoff T., 2004: Combination of terrestrial laser scanning with high resolution panoramic images for investigations in forest applications and tree species recognition. Source unknown.
- Henning J.G., Radtke P.J., 2003: Non-destructive stem taper measurements: Can you see the trees through the point-cloud? Proceedings of the NEMO-SOMA Joint Conference.
- Hopkinson C., Chasmer L., Young-Pow C., Treitz P., 2004: Assessing forest metrics with a ground-based scanning lidar. *Can. J. Forest Research*, 34: pp. 573-583.
- Pfeifer N., Winterhalder D., 2004: Modelling of Tree Cross Sections from Terrestrial Laser-Scanning Data with Free-Form Curves. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XXXVI, Part 8/W2: pp. 76-81
- Pfeifer N., Gorte B., Winterhalder D., 2004: Automatic reconstruction of single trees from terrestrial laser scanner data. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* Vol. XXXV, Comm. 5., Part B, pp. 114-119.
- Simonse M., Aschoff T., Spiecker H., Thies, M., 2003: Automatic Determination of Forest Inventory Parameters Using Terrestrial Laserscanning. Proceedings of the ScandLaser Scientific Workshop on Airborne Laser Scanning of Forests, Umeå/Sweden, pp. 251- 257.
- Thies M., Spiecker H., 2004: Evaluation and Future Prospects of Terrestrial Laser-Scanning for Standardized Forest Inventories. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XXXVI, Part 8/W2.
- Watt P.J., Donoghue D.N.M., Dunford R.W., 2003: Forest Parameter Extraction Using Terrestrial Laser Scanning. Proc. ScandLaser Scientific Workshop on Airborne Laser Scanning of Forests, Umeå, Sweden, pp. 237-244.

Summary

The paper discusses methodological aspects of a research project financed by the State Forests dealing with forest inventory with the use of modern geomatic technologies (terrestrial and airborne laser scanning, hemispherical photographs, LAI, Mobile Mapping System, very high resolution satellite images).

prof. dr hab. Tomasz Zawila-Niedzwiecki
tzawila@fh-eberswalde.de

mgr inż. Stanisław Miścicki
Stanislaw.Miscicki@wl.sggw.pl

mgr inż. Michał Zasada
Michal.Zasada@wl.sggw.waw.pl

mgr inż. Agata Wencel
agatawe@poczta.onet.pl