

**PRECYZYJNE POZYCJONOWANIE PNI DRZEW
NA KOŁOWYCH POWIERZCHNIACH PRÓBNYCH
PRZY UŻYCIU URZĄDZENIA POSTEX**

**POSTEX PRECISION POSITIONING OF TREE TRUNKS
ON CIRCULAR INVENTORY PLOTS
USING THE POSTEX DEVICE**

Piotr Wężyk, Radosław Sroga, Piotr Szwed

Laboratorium GIS i Teledetekcji, Katedra Ekologii Lasu
Wydział Leśny Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie

Słowa kluczowe: PosTex (Haglöf), pierśnicomierz elektroniczny, lokalizacja pnia drzewa, TLS
Keywords: Pos-Tex (Haglöf), digital caliper, tree trunk position, TLS

Wstęp

Wysokie i stale rosnące koszty pracy w krajach europejskich kreują potrzebę wdrażania nowych zautomatyzowanych rozwiązań technologicznych minimalizujących liczbę zatrudnionych pracowników i czas wykonywania przez nich czynności. Trend ten, obecny w gospodarce leśnej, jest łatwy do zaobserwowania w procesie użytkowania lasu, w którym maszyny wielooperacyjne dynamicznie wypierają tradycyjnych pilarzy i konne zaprzęgi zrywkowe. Również w pracach urządzeniowych czy geodezyjnych pojawiają się nowe rozwiązania takie jak: dalmierze laserowe i ultradźwiękowe, odbiorniki dGPS, klupy elektroniczne, urządzenia mobilne GIS i wiele innych, których zadaniem jest przyspieszenie pracy i podniesienie dokładności opracowań, a tym samym jakości prac przy jednoczesnym minimalizowaniu kosztów (Wężyk, 2004).

Podstawowe parametry drzew pozyskiwane w procesie inwentaryzacji lasu i służące określeniu miąższości to wysokość drzewa (h) oraz jego pierśnica (d), na podstawie której wylicza się tzw. pierśnicowe pole przekroju. Pomimo stosowania coraz bardziej nowoczesnych urządzeń, pomiar wysokości drzewa wciąż jest niezwykle czasochłonną i subiektywną czynnością. Metoda najczęściej opiera się on na zasadzie geometrycznej (np. wysokościomierz Weisego czy listewka Christena) lub trygonometrycznej. Ta ostatnia wymaga jednak każdorazowego ustalenia odległości operatora od mierzonego pnia drzewa, jak ma to miejsce w przypadku wysokościomierzy Suunto czy Blume-Leiss (Bruchwald, 1999). Wysokościomierz Vertex (Haglöf) umożliwia dokładne określenie wysokości drzewa dzięki au-

tomatycznemu pomiarowi odległości od pnia przy wykorzystaniu ultradźwięków oraz w oparciu o kąt nachylenia osi celowej do wierzchołka (pochyłościomierz elektroniczny).

Drugim podstawowym elementem pomiarowym w inwentaryzacji lasu jest pierśnica drzewa, tj. średnica poziomego przekroju drzewa położonego w odległości 1,3 m od jego podstawy. Pole przekroju pierśnicowego może być obliczane z obwodu pnia na wysokości pierśnicy, stosując tzw. „wzór francuski” (Bruchwald, 1999). W USA pierśnicę mierzy się często przy pomocy tzw. „przymiaru baltimorskiego” (ang. *Baltimore Stick*) na wysokości 4,5 stóp (Avery, Burkhardt, 2002). W każdym z przypadków wartość pomiaru musi zostać jednak wpisana do formularza (papier lub PDA) przez operatora lub inną osobę, co podnosi koszty prac i może być przyczyną pomyłek. Do niedawna brak było rozwiązań technicznych umożliwiających precyzyjne określenie wymienionych cech taksacyjnych drzew i drzewostanów w krótkim czasie i na dużych obszarach.

Rozwijające się od kilku lat technologie skaningu laserowego (lotniczego i naziemnego) stwarzają możliwości pełnej automatyzacji pozyskiwania wybranych parametrów, takich jak wysokość drzewa (w sposób bezpośredni), czy: pierśnicy i zasobności drzew i drzewostanów (metodą pośrednią, np. analizą regresji). Wciąż jednak istnieje potrzeba posiadania precyzyjnej informacji służącej do „kalibracji” (uczenia) stosowanych algorytmów czy sieci neuronowych (Wężyk et al., 2007, 2008). Najmniejszym obiektem dla planu urządzania lasu i związanych z nimi bazami geometrycznymi Leśnej Mapy Numerycznej (LMN) i opisowymi (SILP) wciąż jest pododdział leśny. Niekiedy jednak konieczna jest informacja o lokalizacji drzew w przyjętym układzie odniesienia. Ma to podstawowe znaczenie dla prac związanych ze stałymi powierzchniami jak np.: wielkopowierzchniowa inwentaryzacja lasu, powierzchnie monitoringowe, doświadczalne, itp. Najprostszym rozwiązaniem, stosowanym do tej pory, był pomiar biegunowy wykonywany ze środka powierzchni kołowej. Pomiar ten jednak obarczony był zwykle błędem odczytu busoli i taśmy, co w trudnych warunkach drzewostanowych (np. podszyt, nachylenie stoku) stwarzało nie lada problemy. Zastąpienie tego zestawu tachimetrem lub tzw. TotalStation wymaga zastosowania dość drogich urządzeń i pomimo wszystko zaangażowania większej liczby pracowników. Dotychczasowe wyniki badań wskazują na to, iż naziemny skaningu laserowy (TLS, ang. *Terrestrial Laser Scanning*) najbardziej precyzyjnie określa położenie obiektów spośród wszelkich metod pomiarowych, a ponadto wyklucza powstawanie błędów spowodowanych subiektywną oceną lub odczytem urządzenia (Wężyk i in., 2007; Thies, Spiecker, 2004; Aschoff, Spiecker, 2004). Lokalizację pojedynczych drzew na większych obszarach umożliwia lotniczy skaningu laserowy (ALS; ang. *Airborne Laser Scanning*), jednak położenie pnia bardzo często nie odpowiada wierzchołkowi korony szczególnie w terenach o dominacji wiatrów z jednego kierunku (Wężyk i in., 2008; Schnadt, Katzenbeißer, 2004). Innym stosowanym rozwiązaniem technologicznym do pozycjonowania drzew w lesie jest urządzenie POS LV200 (Applanix), powstałe na drodze integracji precyzyjnego odbiornika GPS oraz urządzenia IMU (ang. *Inertial Measurements Unit*), składającego się z żyroskopów i akcelerometrów (Gillet i in., 2001). Nawet brak sygnału NAVSTAR-GPS pod okapem drzewostanu umożliwia precyzyjne rejestrowanie pozycji drzew dzięki wyrównaniu pomiarów realizowanych w lesie i poza lasem gdzie odbiór sygnału jest możliwy (Internet, 2008).

Potrzeby gospodarki leśnej związane z coraz częściej używanym pojęciem precyzyjnego leśnictwa, wymuszają poszukiwanie nowych rozwiązań technologicznych umożliwiających dokładne pozycjonowanie pni drzew, możliwie prostymi i niedrogimi urządzeniami. Takim rozwiązaniem wydaje się być PosTex (Haglöf), składający się z zestawu: pierśnicomierza

elektronicznego DigiTech Professional Calliper oraz wysokościomierza Vertex IV (opcja Bluetooth oraz IrDA).

Celem prezentowanej pracy było określenie dokładności określenia pozycji pni drzew na próbnych powierzchniach kołowych przy pomocy zestawu PosTex (Haglöf) oraz podjęcie próby ustalenia parametru zagęszczenia drzew dla fragmentu drzewostanu na powierzchni 1 hektara.

Teren badań

Obiektem badawczym były drzewostany nadleśnictwa Milicz (RDLP Wrocław; 51°27' N; 17°12' E), na których od kilku lat prowadzone są badania nad integracją wielu technologii geomatycznych w zakresie ich wykorzystania w gospodarce leśnej. Prace prowadzone od 2006 roku dotyczą m.in.: laserowego skaningu naziemnego TLS (Węzyk et al., 2007), lotniczego ALS, cyfrowej fotogrametrii lotniczej i naziemnej oceny LAI oraz innych technologii. W pracy prezentowane są badania przeprowadzone na 3 kołowych powierzchniach próbnych (300 m²) o numerach: 14, 15 i 16 (pododdział 232b; wiek 67 lat; średnia pierśnica 24,0 cm; średnia wysokość 20,0 m; bonitacja II).

Metodyka prac

W celu określenia dokładności pozycjonowania pni drzew przy wykorzystaniu zestawu PosTex (Haglöf), jako referencji użyto chmury punktów (ang. *point cloud*) pochodzących z naziemnego skaningu laserowego TLS, przeprowadzonego w listopadzie 2006 roku (Węzyk et al., 2007). W projekcie zastosowano skaner FARO LS 880, o precyzji pomiaru liniowego na poziomie 3,0 mm na odległości 10,0 m. Środki powierzchni kołowych zostały wyznaczone w 2006 roku pomiarem dGPS (Pathfinder ProXRS Trimble; stacja referencyjna UP Wrocław odległość ok. 38,5 km), a następnie zweryfikowane tradycyjnym pomiarem geodezyjnym wykonanym przez SGGW Warszawa (różnice współrzędnych płaskich X i Y: $\pm 0,5 \div 1,1$ m). W lipcu 2008 roku dokonano pomiarów pni drzew zestawem PosTex (Haglöf) na 3 powierzchniach kołowych, a także w obszarze pomiędzy nimi. Pozycja transponderów ustalana była w miejscach o dobrym odbiorze GPS i optymalnym pod kątem poszerzenia obserwacji poza 3 wymienione powierzchnie. Współrzędne dodatkowych stanowisk transponderów zostały wyznaczone pomiarem dGPS (Pathfinder ProXRS Trimble, stacja referencyjna Józefosław – odległość ok. 93km).

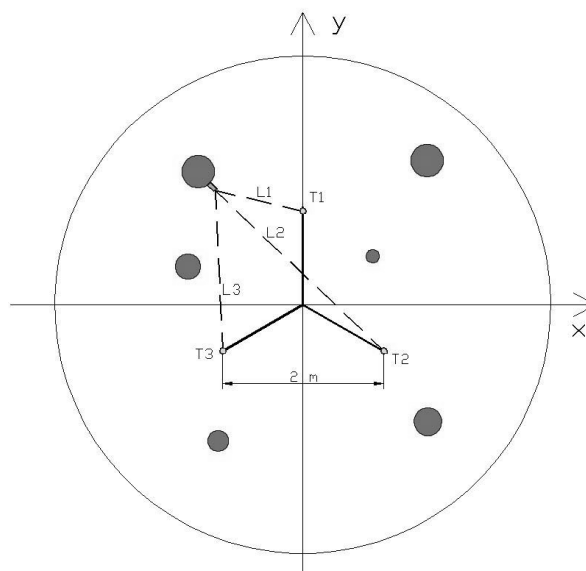
Prace terenowe

Pomiary na powierzchniach kołowych realizowane przez jednego operatora dotyczyły ustalenia: wielkości pierśnicy, wysokości i lokalizacji każdego drzewa. Pomiar pierśnicy dokonywany był średnicomierzem Professional Calliper (rys.3) na wysokości 1,3 m od podstawy drzewa kierując jego dłuższe ramię do środka powierzchni kołowej (rys. 4). Urządzenie automatycznie dokonywało odczytu pierśnicy zapisując wynik (z dokładnością do 0,01 cm) w pamięci rejestratora (komputera DigiTech, typu *hand held*, 32 MB i 2 MB RAM) zintegrowanego ze średnicomierzem. Obsługa urządzenia jest niezmiernie intuicyjna, a rozwiązanie cechuje wysoka ergonomiczność (tylko 4 klawisze funkcyjne i przycisk Enter, akumulator

na 7 dni pracy, warunki pracy $-20\text{ }^{\circ}\text{C} \div +60\text{ }^{\circ}\text{C}$). Określenie lokalizacji pni drzew odbywa się poprzez użycie wysokościomierza Vertex IV jako dalmierza oraz trzech transponderów zamontowanych na specjalnym statywie ustawionym na środku powierzchni kołowej. Odległość od pnia drzewa do środka powierzchni rejestrowany jest VERTEX IV i polega na zapisie odbitego sygnału przez trzy transpondery, umieszczone na trzech ramionach statywu. Ramiona wysunięte są na stałą odległość od osi pionowej urządzenia, w jednej płaszczyźnie poziomej (rys. 1), przy zachowaniu pomiędzy nimi stałego kąta 120° (rys. 2). Takie rozwiązanie konstrukcyjne umożliwi wykonanie wcięcia przestrzennego. Do pomiaru odległości wykorzystuje się ultradźwięki o częstotliwości 25 kHz. Oś pionowa statywu przebiegać musi przez środek powierzchni kołowej (współrzędne $X = 0, Y = 0$), przy czym zawsze



Rys. 1. Zestaw PosTex na powierzchni kołowej



Rys. 2. Schemat pomiaru odległości pnia od transponderów PosTex; L (1-3) odległość; T (1-3) transponder

transponder oznaczony jako czarny (kolory: czarny, biały i zielony mają przypisaną pozycję do ramion statywu), musi zostać skierowany na północ (ramię na azymut $0,0^\circ$). Pomiaru dokonuje się przykładając Vertex IV do pnia drzewa, którego pierśnica jest właśnie określana (tzw. „klupowana”) i kierując go na zespół 3 transponderów, w trybie pracy DME (rys. 5). Pomiar przesyłany jest następnie za pomocą transmisji w podczerwieni (port IrDA) komputera na pierśnicomierzu Digitech Professional Calliper (rys. 6). Tu analizowana jest informacja przez dołączone oprogramowanie, które określa odległość pnia drzewa od środka powierzchni z dokładnością do 1,0 cm oraz podaje azymut z dokładnością 0,1 grada. Odległość pnia drzewa od środka powierzchni końcowej jest powiększona o 1/2 mierzonej średnicy drzewa. Z tego właśnie powodu, należy najpierw dokonać pomiaru pierśnicy, a następnie dokonywać pomiaru odległości i kąta. Pozycja drzewa obliczana jest w kartezjańskim układzie współrzędnych, przyjmując za punkt odniesienia środek powierzchni kołowej ($X = 0, Y = 0$). Do pomiaru wysokości drzewa można przystąpić dopiero po zakończonych pomiarach średnic i ustaleniu odległości i kąta drzew od środka powierzchni kołowej. Transpondery używają takiej samej częstotliwości fali, stąd nie można podczas określania położenia pni wprowadzać czwartego transpondera służącego do pomiaru wysokości. Urządzenie Vertex IV mierzy wysokość drzewa poprzez ustalenie odległości operatora od transpondera umieszczonego na drzewie na określonej wysokości (np. 1,3 m). Po określeniu odległości następuje pomiar kąta osi celowej na wierzchołek drzewa, a wysokość obliczana jest przy wykorzystaniu funkcji trygonometrycznych. Wynik pomiaru (dokładność 0,1 m) przesyłany jest następnie do rejestratora (komputera) DigiTech zintegrowanego z pierśnicomierzem. Transmisja odbywa się poprzez port IrDA w momencie edycji poszczególnych atrybutów drzew, automatycznie numerowanych przez system. Ważne jest, aby wcześniej zanumerować wyraźnie pnie drzew na powierzchni, co pozwala na uniknięcie błędów przypisania atrybutu wysokości do konkretnych drzew.

Prace kameralne

Dane referencyjne lokalizacji pni drzew na powierzchni kołowej pochodziły z chmury punktów TLS przetworzonej w oprogramowaniu Bentley Microstation V8, z wykorzystaniem nakładki TerraScan oraz TerraModeler (Terrasolid Ltd.). Stosując oprogramowanie ArcView oraz ArcGIS ArcMap (ESRI) wygenerowano dokładne centroidy przekrojów pni drzew (ang. *slice*), pozyskane na wysokości 1,3 m od gruntu (Wężyk i in., 2007). Weryfikację poprawności automatycznie działającego algorytmu do generowania centroid, oparto na manualnych pomiarach biegunowych (odległość i kąt) wykonanych w oprogramowaniu Faro Scene 4.0 (FARO). Pierwszym krokiem przetwarzania danych z systemu pomiarowego PosTex był import plików pomiarowych z pamięci rejestratora na dysk komputera PC, za pomocą dołączonego przez producenta kabla oraz firmowego oprogramowania. Pliki zostały zapisane w formacie tekstowym. Oprogramowanie rejestratora umożliwia edytowanie funkcji rejestratora, np. przez dodawanie kolejnych pozycji pomiarowych takich jak: dodatkowy (poprzeczny) pomiar pierśnicy czy wysokość podstawy korony drzewa. Dane dotyczące lokalizacji pnia drzewa były zapisane w lokalnym układzie współrzędnych ($X = 0, Y = 0$), dlatego konieczne było dokonanie transformacji do PUWG 1992 (tego układu używano w projekcie), co wykonano w oprogramowaniu Excel (MS). Dane tekstowe przetwarzano następnie w oprogramowaniu ArcGIS ESRI, uzyskując warstwę punktową (SHAPE) z tabelą atrybutów z przeprowadzonych pomiarów.

W badaniach nad dokładnością pozycjonowania przy użyciu zestawu PosTex, poszukiwano wartości wektora błędu liniowego poszczególnych pni drzew w stosunku do danych referencyjnych (centroidy wycinków chmury punktów pni) pozyskanych skanerem FARO (TLS). Największym problemem wszystkich pomiarów wykonywanych w terenie jest wyznaczenie kierunku północy. Także w przypadku określania pozycji jednego z ramion statywu (czarny kolor transpondera) nie uniknięto problemów z poprawnym jego ustawieniem na kierunek północy (inna busola niż w przypadku pomiarów TLS). W kolejnym kroku określono zależności kątowe pomiędzy kolejnymi drzewami. Okazało się, iż wartości te są niemal identyczne w porównaniu do danych referencyjnych TLS. Wystarczyło więc, określić różnicę kątową pomiędzy pierwszym drzewem z pomiaru TLS i jego odpowiednikiem z danych PosTex. O tę właśnie wartość kątową obrócono centralnie wszystkie środki pni (PosTex) w oprogramowaniu ArcGIS ESRI (rys. 7). Kolejnym źródłem błędów może być niedokładne przyłożenie VERTEX IV do pnia drzewa, tj. niezachowanie kąta prostego przyłożenia do pnia oraz odejście od osi symetrii pnia. Niestety nie ma możliwości korekcji tego typu błędu po pomiarze.

Dodatkowo wykonane pomiary zestawem PosTex pomiędzy powierzchniami kołowymi odległymi od siebie o około 60÷70 metrów pozwoliły na pozyskanie wszystkich pni drzew we fragmencie drzewostanu o obszarze około 1 ha. Dzięki analizom przestrzennym GIS – przeprowadzonym w oprogramowaniu ArcGIS 9.2 (ESRI), określono zagęszczenie drzew (szt./1ha) na stosunkowo dużej próbie, o wiele większej niż w tradycyjnie wykonywanych pomiarach inwentaryzacyjnych (rys. 8).

Wyniki

Otrzymane wyniki prac zostaną omówione w dwóch rozdziałach, tj. części dotyczącej poprawności określania lokalizacji pni sosen w drzewostanie oraz w części zmienności parametru taksacyjnego zagęszczenie (szt./ha).

Pozycjonowanie

Zaimportowane pliki tekstowe z rejestratora DigiTech zawierały takie informacje jak: numer powierzchni (podany przez operatora), numer drzewa (automatycznie kodowany kolejny pień), gatunek (kodowanie przyjęte przez operatora, np. 1 = So), pierśnica drzewa (mm), odległość do pierwszego, drugiego i trzeciego transpondera (cm), wysokość drzewa (m), współrzędna X (m), współrzędna Y (m), odległość od środka powierzchni (m) oraz azymut. Przykładowy plik pomiarowy PosTex dla powierzchni kołowej zaprezentowano na rysunku 9.

Wektory błędu liniowego (DL) lokalizacji pni drzew określone zestawem PosTex okazały się stosunkowo niewielkie biorąc pod uwagę fakt, iż w podszycie występował świerk utrudniający dokonywanie pomiarów (tabela). Wartość średniego błędu liniowego (DL) na poziomie 0,11 m przy odchyleniu standardowym ok. 0,1 m, odpowiada wartości połowy średnicy pomierzonych drzew. Wydaje się więc, iż tego typu dokładność określania pozycji drzew w drzewostanie pozwala na jednoznaczne zlokalizowanie i zidentyfikowanie poszukiwanego drzewa na powierzchni próbnej przy wykonywaniu prac urzędniowych, szczególnie, iż w tej fazie rozwojowej drzewostanu odległości pomiędzy pniami drzew przewyższa co najmniej kilka razy wartości błędu.

ID	Nr	species	Diameter	Dist1	Dist2	Dist3	Height	X	Y	R	Theta
15	1	1	227	754	741	570	19.50	0,51	6,94	6,95	4,17
15	2	1	222	363	270	175	20.90	1,55	2,17	2,66	35,57
15	3	1	195	887	759	698	18.60	5,4	5,72	7,87	43,32
15	4	1	251	616	440	475	19.60	4,82	1,83	5,16	69,17
15	5	1	294	670	472	587	19.90	5,85	-0,24	5,85	92,36
15	6	1	243	337	168	352	18.40	2,31	-1,77	2,91	127,35
15	7	1	241	712	556	757	19.90	4,94	-4,7	6,82	133,53
15	8	1	227	884	774	973	19.00	4,63	-7,54	8,85	148,44
15	9	1	215	521	465	650	19.50	1,41	-5,31	5,5	165,13
15	10	1	249	622	580	762	20.70	1,29	-6,49	6,62	168,77
15	11	1	199	668	716	854	20.80	-1,68	-7,32	7,51	192,95
15	12	1	187	616	736	816	19.50	-4,11	-6	7,27	214,39
15	13	1	254	110	297	304	21.20	-2	-1,28	2,38	237,38
15	14	1	252	231	432	372	22.10	-3,44	-0,56	3,48	260,75
15	15	1	233	756	956	910	22.60	-8,46	-2,48	8,82	253,65
15	16	1	253	535	728	610	21.30	-6,22	1,06	6,31	279,69
15	17	1	217	779	957	805	21.20	-7,86	3,33	8,54	292,97
15	18	1	196	253	358	175	21.70	-1,66	1,96	2,56	319,8
15	19	1	252	703	811	614	21.80	-4,16	5,84	7,17	324,57
15	20	1	169	556	633	434	18.50	-2,35	4,9	5,43	334,43
15	21	1	253	900	981	781	21.50	-3,86	8,09	8,96	334,47

Rys. 9. Dane pomiarowe w formacie tekstowym pochodzące z oprogramowania WinDp (rejestratora DigiTech) z powierzchni numer 15 (Nadleśnictwo Milicz)

Tabela. Zestawienie wyników określenia błędu liniowego (DL) zestawem PosTex dla trzech powierzchni kołowych

Numer powierzchni	Błąd liniowy DL [m]				Korekta kątowa [°]	Maksymalne przesunięcie wierzchołka korony w stosunku do pozycji pnia [m]
	średnia	odchylenie standardowe	min.	max.		
14	0,12	0,09	0,01	0,36	-1,74	1,55
15	0,11	0,07	0,04	0,34	1,78	1,57
16	0,11	0,13	0,02	0,63	0,19	2,24

Na podstawie informacji uzyskanych od producenta PosTex zakładano, iż średni błąd liniowy (DL) będzie znacznie większy, tj. na poziomie ok. 0,25 m. Być może niskie wartości błędów, jakie uzyskano, wiążą się z niewielkim promieniem powierzchni 3 arowej ($r = 9,77$ m). Błędy o wartościach maksymalnych 0,63 m wystąpiły sporadycznie w sytuacji bardzo złej widoczności pnia drzewa ze środka powierzchni. Wzrost promienia powierzchni kołowej może pociągać za sobą wzrost wektora błędów liniowych. Analiza regresji wykonana dla zestawu 70 drzew wykazała stosunkowo niską wartość współczynnika determinacji ($R^2 = 0,23$) określającego związek pomiędzy odległością pnia z TLS a danymi z PosTex. Należy zaznaczyć, iż pomiary PosTex, pomimo mniejszej dokładności od technologii TLS, umożliwiają pomiar wszystkich drzew na powierzchni nawet w sytuacji występowania zwartej podszyciu. Na powierzchni nr 14 operator oprogramowania FARO Scene do przetwarzania chmury punktów TLS, nie był w stanie dokonać pomiaru pierśnicy dla 1 pnia sosny, niemal w połowie przesłoniętego przez inne drzewa i 1 świerka o silnym ugałęzieniu. Na powierzchni numer 16, wystąpił kolejny tego typu przypadek dla pnia sosny analizowanej w chmurze TLS. Aplikacja automatycznego określania pola pierśnicowego oraz wyznaczania centroidy pnia pozwoliła jednak na pozyskanie danych referencyjnych i wykonanie porównań.

Największe różnice pomiędzy lokalizacją wierzchołka korony a pniem drzewa wystąpiły na powierzchni nr 16 i wynosiły 2,24 m. Krzywizna pnia drzewa, wpływa więc negatywnie na proces selekcji i porównywania liczby koron drzew pozyskiwanych z ortofotomapy, a tą określoną zestawem PosTex.

Pomiar zagęszczenia drzew

Nowoczesne leśnictwo potrzebuje wciąż nowych parametrów określanych automatycznie, do których zaliczyć można m.in. współczynnik zagęszczenia drzew na jednostce powierzchni (St-Onge, Vepakomma, 2004; Persson et al., 2004, Pitkänen et al., 2004). Na analizowanym obszarze w Miliczu (rys. 7) o powierzchni 0,97 ha, przy użyciu zestawu PosTex, pomierzono łącznie 654 sosny z drzewostanu głównego. Zagęszczenie określone na tej podstawie kształtowało się na poziomie 674 szt./ha. Jako dane referencyjne wykorzystano obrysy koron drzew wektoryzowane na ortoobrazie wygenerowanym na podstawie skanera liniowego TopoSys oraz modelu NMPT (DSM generowany z ALS). Liczba koron referencyjnych wyniosła 659 sztuk, co daje wartość zagęszczenia na poziomie 679 szt./ha. Niewielka różnica wynosząca zaledwie 5 szt./ha, pochodzić może albo z subiektywnej interpretacji obrazu przez operatora, albo też ze zdublowania mierzonych drzew, które w terenie znaczone kredą na korze jako pomierzone. Poza tym, w analizowanym fragmencie pododdziału występują grupy świerków, które mogły zostać omyłkowo zinterpretowane i zwektoryzowane jako korony sosen. Analizując wartość parametru zagęszczenia drzew na danych referencyjnych zauważamy, iż waha się on od 933 (pow.14; $n = 28$ drzew) do 700 (pow. 15 i 16; $n = 21$), co świadczy o niehomogeniczności pododdziału (średnia z pow. 14, 15 i 16 = 778 drzew/1ha; różnica do referencji 99 drzew/1ha). Występujące lokalnie wizury i luki pomiędzy koronami sprawiają, iż wartość zagęszczenia drzew na jednostkę powierzchni zamienia się przestrzennie. Wydaje się, iż określona przy pomocy zestawu PosTex średnia wartość zagęszczenia drzew, na obszarze blisko 30 razy większym niż jedna 3-arowa powierzchnia, daje podstawy do lepszego wnioskowania statystycznego.

Wnioski

Testy przeprowadzone w lipcu 2008 roku zestawem pomiarowym PosTex (Haglöf) w drzewostanie w Nadleśnictwie Milicz pozwalają wyciągnąć pozytywne wnioski na temat tego rozwiązania technologicznego. Zestaw PosTex z dużą dokładnością, na poziomie około połowy pierśnicy drzewa, określa lokalizację pni drzew, które jednocześnie podlegają pomiarom pierśnicy i wysokości. Czynności pomiarowe mogą być wykonywane jednoosobowo, co zostało praktycznie sprawdzone podczas omawianych prac testowych. Operator potrzebował kilkunastu minut na rozłożenie statywu i dokonanie pomiaru pierśnic (ok. 11 minut) i tyle samo czasu na pomiar wysokości drzew (średnio 23 drzewa na powierzchni). Być może, doświadczony taksator posługujący się dobrym kompasem i sprawnym dalmierzem laserowym jest w stanie podobnie szybko określić pozycję drzewa pomiarem biegunowym, ale jednak, za każdym razem dane te muszą być wprowadzane do raptularzy lub przenośnych komputerów. Operator musi podchodzić do drzew w celu pomiaru pierśnicy i wysokości. Kompleksowe podejście firmy Haglöf umożliwia także rozszerzenie liczby urządzeń pomiarowych komunikujących się w rejestratorze DigiTech lub VERTEX IV poprzez łącze Bluetooth, stosując czytniki kodów paskowych, czy też odbiornik GPS.

Zestaw PosTex może być bardzo użyteczny do określania przestrzennej zmienności rozkładu mierzonych cech (np. wysokości czy pierśnicy) i umożliwia operowanie na odległości rzędu 25÷28 metrów w drzewostanie bez podszytu. Wydaje się, iż PosTex szybko znajdzie zastosowanie w praktyce prac urządzeniowych ze względu na swoje wszechstronne możliwości, umiarkowaną cenę i przede wszystkim rosnące koszty firm wykonujących prace w tym zakresie. Zebranie tylu precyzyjnych informacji metodami tradycyjnymi byłoby niezwykle uciążliwe i bardzo czasochłonne.

Porównywanie możliwości zestawu PosTex do technologii naziemnych skanerów laserowych obarczone jest z założenia pewnym nieporozumieniem, gdyż oba urządzenia służą w zasadzie różnym celom. Zestaw PosTex można traktować jako praktyczne i niedrogię rozwiązanie przejściowe, dopóki nie ukażą się na rynku zminiaturyzowane skanery laserowe, o podobnej precyzji jak obecne, jednak o wiele bardziej kompaktowe i odporne na wpływy środowiska leśnego. Urządzenie PosTex daje szansę tym firmom czy jednostkom naukowym, których nie stać dziś na zainwestowanie w zakup skanera naziemnego czy też zestawu dGPS zintegrowanego z IMU. Precyzyjne leśnictwo wymagać będzie niebawem posługiwania się precyzyjną lokalizacją wszystkich drzew w lesie, która zostanie początkowo ustalona przy zakładaniu uprawy. Weryfikacja i uzupełnienie tego typu danych, z powodzeniem już dziś, może się odbywać przy wykorzystaniu zestawu pomiarowego PosTex (Haglöf).

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*, Vol. XXXVI, Part 8/ W2, pp. 66-70.
- Avery T.E., Burkhardt H.E., 2002: *Forest Measurements*. New York.
- St-Onge B., Vepakomma U., 2004: Assessing Forest Gap Dynamics And Growth Using Multi – Temporal Laser – Scanner Data. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVI- 8/W2. ss. 173-178.
- Bruchwald A., 1999: *Dendrometria*. Wydawnictwo SGGW. Warszawa.
- Gillet J.R., McCuiag. B., Scherzinger E., Lithopoulos M., 2001: Tightly coupled inertial/GPS system for precision forestry surveys under canopy: test results. First International Precision Forestry Symposium. University of Washington. College of Forest Resources. Seattle. WA. June 17-20.2001. pp. 131-138.

Internet, 2008: pobrano z lokalizacji:

http://www.cfi.washington.edu/research.pfc/publications/Reutebuch_Applanix_paper6_9_03.pdf

- Persson Ł., Holmgren J., Söderman U., Olsson H., 2004: Tree Species Classification Of Individual Trees In Sweden By Combining High Resolution Laser Data With High Resolution Near Infrared Digital Images. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVI-8/W2, pp. 204-207.
- Pitkänen J., Maltamo M., Hyyppä J., Yu X., 2004: Adaptive Methods For Individual Tree Detection On Airborne Laser Based Canopy High Model. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVI- 8/W2. pp.187- 191.
- Schnadt K., Katzenbeißer R., 2004: Unique Airborne Fiber Scanner Technique For Application – Oriented LiDAR Products. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVI- 8/W2. pp.19-23.
- 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*, Vol. XXXVI- 8/W2. pp.192-197.
- Wężyk P., 2004: Mity i fakty dotyczące stosowania GPS w leśnictwie. *Roczniki Geomatyki*. t. II, z. 4, PTIP. Warszawa, s.19-32.
- Wężyk P., Koziół K., Glista M., Pierzchalski M., 2007: Terrestrial laser scanning versus traditional forest inventory. First results From the Polish forests. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XXXVI, Part 3 / W52. 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. 8th International conference on LIDAR applications in forest assessment and inventory. SilviLaser 2008. Sept. 17-19. 2008, Edinburgh, UK (in print).

Abstract

Precision forestry is a new key word appearing quite often when the newest applications of such technology as terrestrial laser scanning (TLS) or airborne laser scanning (ALS) are used in modern forest inventory. Other simple and smart solutions are still needed to support collecting of ground true data. PosTex and DigiTech Professional caliper from Haglöf combined form a complete system to measure DBH, the height of the tree and the stem position. With this device, one person can do both forest inventory jobs: positioning and diameter (DBH) measuring at the same time. Three distances from stem to the middle of the monitoring plot are transferred through Bluetooth or IR to the DigiTech terminal, where the registration is made with details on species, diameter, heights and other variables for each tree. When calculating the stem position, consideration is made to the just collected tree diameter, to make a correct position of the tree center. The position and DBH measurements can be taken at the same time and highly accurate measures of the height of trees can be collected. The study was performed in the Milicz Forest District (RDLP Wrocław of the Polish State Forests) in July 2008. The set of reference data was collected with the use of FARO LS 880 terrestrial scanner. Three inventory plots were measured with PosTex kit. The results confirmed high precision (approx. 0,11 m XY) of tree stem position. Also, the stem density was calculated based on additional measurements taken with PosTex on the area of almost 1 ha (679 trees). The reference data based on the crown outlines were gathered from DSM (ALS) and trueortho from TopoSys (674 trees). The PosTex method is recommended when accuracy demands are moderate, for example to integrate the ground true data with ALS cloud point or to follow up individual trees on monitoring plots.

dr inż. Piotr Wężyk
rlwezyk@cyf-kr.edu.pl
tel. +4822 662 50 82

Studenci 5. roku Wydziału Leśnego UR w Krakowie
Radosław Sroga, Piotr Szwed
<http://argis.les.ar.krakow.pl>



Rys. 3. Rejestrator DigiTech (Haglöf)



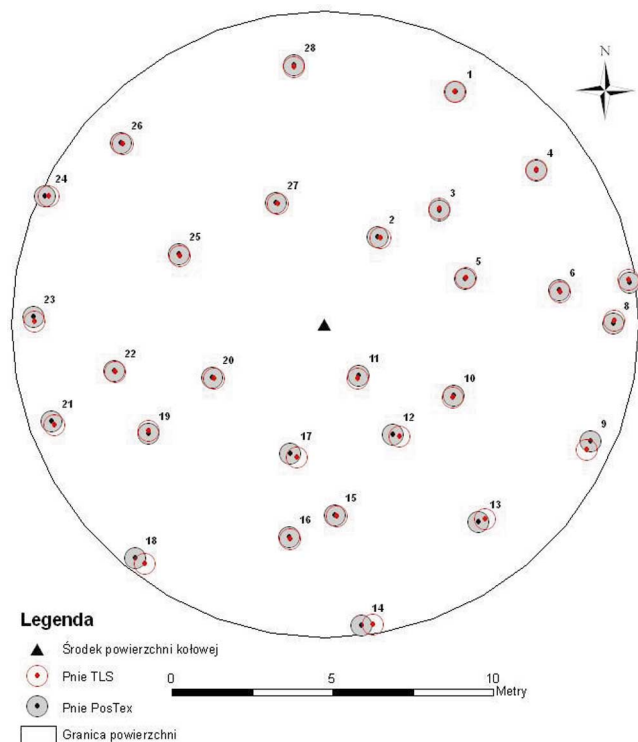
Rys. 4. Pomiar pierśnicy średnicomierzem DigiTech Professional Calliper



Rys. 5. Użycie wysokościomierza VERTEX IV jako dalmierza w zestawie PosTex



Rys. 6. Transmisja danych: odległość i wysokość z VERTEX IV do rejestratora DigiTech (IrDA)



Rys. 7. Lokalizacja pni drzew na powierzchni nr 14 mierzona zestawem PosTex (referencja TLS)



Rys. 8. Lokalizacja pni drzew z pomiaru PosTex na tle korondzew (ALS +trueorto TopoSys) w wydzielaniu 232b (Nadleśnictwo Milicz)