

DALMIERZ LASEROWY W ZASTOSOWANIU DO POMIARU DRZEW – OCENA DOKŁADNOŚCI

THE USE OF LASER RANGEFINDER TO MEASURE TREES – ACCURACY ANALYSIS

Bartłomiej Stankiewicz¹, Krzysztof Będkowski²

¹ Nadleśnictwo Radziwiłłów

² Katedra Urządzania Lasu, Geomatyki i Ekonomiki Leśnictwa, Wydział Leśny
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Słowa kluczowe: dalmierz laserowy, odległość, azymut, wysokość drzewa, dokładność
Keywords: Laser rangefinder, distance, azimuth, tree height, accuracy

Wstęp

Pomiary położenia i wysokości, a także innych cech charakterystycznych drzew w drzewostanach wykonywane są głównie dla celów doświadczalnictwa leśnego. Wykorzystywane są do tego celu różnorodne technologie pomiarowe, a podstawowe znaczenie ma zawsze rodzaj zastosowanego przyrządu. Aktualnie na rynku dostępnych jest coraz więcej urządzeń wykorzystujących technikę pomiaru laserowego. Do tej klasy przyrządów należy także dalmierz LaserAce 300. Ocenę przydatności tego dalmierza do inwentaryzacji lasu na kołowych powierzchniach próbnych przedstawiono w niniejszym artykule. Przy ocenie dokładności zwrócono szczególną uwagę na powtarzalność pomiarów odległości poziomej, azymutu oraz wysokości drzew.

Dalmierz LaserAce 300 jest urządzeniem wykorzystującym metodę pomiaru czasu przelotu światła (ang. *Time of Flight*). Dioda laserowa, ze złączem półprzewodnikowym z arsenku galu wypromieniowuje fotony, które następnie są scalane w jedną wspólną wiązkę. Czas trwania takiego impulsu światła wynosi



Rys. 1. Praca z LaserAce 300 – dane są wprowadzane bezpośrednio do rejestratora (fot. M. Brach)

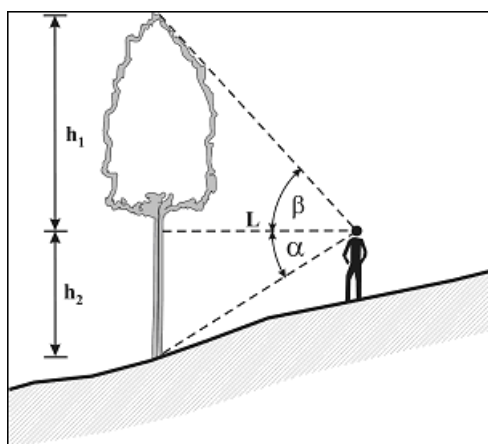
kilka nanosekund. Wysłany impuls zmierza w kierunku obiektu, następnie odbija się od niego i wraca do wbudowanego w dalmierz fotodetektora. Na podstawie zmierzonego czasu przeletu wiązki światła wyznaczana jest odległość. Długość wysyłanej fali wynosi 905 nm. Wyniki pomiaru odległości odczytywane są do 1 cm. Dalmierz posiada wbudowany inklinometr służący do pomiaru odchyłań kątowych przyrządu od pionu wyznaczonego przez siłę grawitacji Ziemi oraz kompas elektroniczny. Wyniki odczytu pomiaru kątów poziomych i pionowych podawane są do $0,1^\circ$, w zakresach $\pm 90^\circ$ i $0-360^\circ$. Urządzenie zasilane jest przez dwie baterie typu AA. Komunikacja z innymi urządzeniami zapewniona jest przez połączenie RS232 lub opcjonalnie przez moduł Bluetooth.

Na podstawie danych otrzymanych w wyniku pomiaru dalmierzem laserowym LaseAce 300 można określić: wysokość drzewa, długość dowolnego odcinka pnia drzewa, długość i szerokość korony, odległość drzew od siebie lub od środka powierzchni próbnej. Dodatkowo, znając azymut, można określić przestrzenne rozmieszczenie obiektów na powierzchni próbnej. Istnieje możliwość wprowadzenia poprawki kątowej do odczytu kompasu, która pozwala na wyznaczenie kąta względem północy geograficznej, a nie magnetycznej. Wartość aktualnej poprawki dla wybranej szerokości i długości geograficznej można sprawdzić na stronie NOAA National Geophysical Data Center <http://www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/#declination>.

Obiekty objęte pomiarami znajdowały się w odległościach do 50 metrów. Warto nadmienić, że warunki pomiarów przygotowano w sposób zapewniający jak najmniejszy wpływ źródeł zakłóceń pola elektromagnetycznego i magnetycznego, takich jak: elementy metalowe, stacje transformatorowe i podziemne oraz napowietrzne linie elektryczne.

Metodyka badań i uzyskane wyniki

Badania przeprowadzono w dwóch trybach pracy przyrządu – przy pomiarze azymutu i odległości (tryb 1) oraz wysokości drzew (tryb 5). Do pomiaru odległości niezbędne jest wycelowanie do obiektu, który zapewni odbicie odpowiednio silnego impulsu wiązki laserowej. W przypadku drzew celuje się do odsłoniętej części pnia, pozbawionej ugałęzienia. Na drodze impulsu nie mogą znajdować się inne obiekty (gałęzie, liście), które mogłyby spowodować odbicie impulsu. Jako wynik pomiaru przyrząd podaje następujące wielkości: odległość ukośną, kąt pionowy, azymut, przewyższenie oraz odległość zredukowaną. Odległość pozioma (zredukowana) wyliczana jest na podstawie odległości ukośnej i kąta pionowego. Pomiar wysokości drzew (tryb 5) opiera się na zasadzie przedstawionej na rysunku 2 i składa się z trzech faz: wycelowania do pnia (pomiar odległości), następnie do wierzchołka (pomiar kątów pionowych). Niezbędna do ustalenia wysokości drzewa odległość pozioma wyliczana jest w sposób identyczny, jak w trybie 1. Przy po-



Rys. 2. Zasada pomiaru wysokości drzewa

miarze wysokości przyjmuje się, że drzewo rośnie pionowo, tj. rzut wierzchołka pokrywa się z podstawą.

Pomiary przeprowadziło trzech obserwatorów. Obiektami pomiarów były drzewa oraz budynki. Te dwa rodzaje obiektów wybrano w celu oceny ewentualnego wpływu błędu identyfikacji celu, z jakim należy się liczyć w przypadku pomiaru roślinności wysokiej. Sam pomiar zrealizowano w dwóch wariantach: „z ręki” oraz „z tyczki” (przyrząd zamocowany na tyczce).

Ocenę dokładności (powtarzalności) wyników oparto na dwukrotnym pomiarze analizowanych wielkości: odległości, azymutów i wysokości drzew, z których utworzono różnice spostrzeżeń. Gdyby pomiary były bezbłędne (jednakowe), różnice uzyskane w każdej parze byłyby równe zeru. W przeciwnym wypadku mogą być traktowane jako tzw. błędy prawdziwe różnic, na podstawie których można obliczyć wielkości będące miarami dokładności pomiarów (Kosiński, 2010):

1. błąd średni różnicy dwóch pomiarów

$$m_d = \left[\frac{\sum (d - \sigma)^2}{n - 1} \right]^{\frac{1}{2}}$$

2. błąd średni jednego pomiaru

$$m = \left[\frac{\sum (d - \sigma)^2}{2(n - 1)} \right]^{\frac{1}{2}}$$

3. błąd średni wyniku z poszczególnych par, tj. błąd średniej arytmetycznej

$$M = \frac{m}{\sqrt{2}}$$

Występujące w powyższych wzorach wielkości błędów systematycznych obliczono jako wartości średnie z otrzymanych różnic:

$$\sigma = \frac{\sum d}{n}$$

Wyniki obliczeń zestawiono w tabelach 1-5.

Tabela 1. Wyniki pomiaru wysokości drzew w trybie 5, „z ręki” (obserwatorzy I i II), n = 163

Obserwator	Wielkość błędu [m]			
	σ	md	m	M
I	-0,050	0,788	0,557	0,394
II	-0,164	0,777	0,549	0,388

Przedmiot pomiaru	Sposób pomiaru	Wielkość błędu [m]			
		σ	m_d	m	M
Wysokość drzewa	R	-0,060	0,349	0,247	0,174
	T	0,005	0,278	0,197	0,139
Odległość pozioma	R	0,01	0,070	0,049	0,035
	T	0	0,055	0,039	0,028

Tabela 2. Wyniki pomiaru wysokości i odległości poziomej drzew (obserwator III). Pomiar w trybie 5, „z ręki” (R) lub „z tyczki” (T), n = 65

Tabela 3. Wyniki pomiaru odległości poziomej oraz azymutu drzew (obserwator III). Pomiar w trybie 1, „z ręki” (R) lub „z tyczki” (T), $n = 59$

Przedmiot pomiaru	Sposób pomiaru	Wielkość błędu [m]			
		σ	m_d	m	M
Azymut	R	0,066	0,592	0,419	0,296
	T	0,078	0,632	0,447	0,316
Odległość pozioma	R	0	0,193	0,136	0,096
	T	0,022	0,091	0,064	0,046

Tabela 4. Wyniki pomiaru wysokości i odległości poziomej do detali budynków (obserwator III). Pomiar w trybie 5, „z ręki (R) lub „z tyczki” (T), $n = 51$

Przedmiot pomiaru	Sposób pomiaru	Wielkość błędu [m]			
		σ	m_d	m	M
Wysokość detalu budynku	R	0,012	0,152	0,107	0,076
	T	0,010	0,181	0,128	0,091
Odległość pozioma	R	0	0,216	0,153	0,108
	T	0,024	0,184	0,130	0,092

Tabela 5. Wyniki pomiaru odległości poziomej oraz azymutu do detali budynków (obserwator III). Pomiar w trybie 1, „z tyczki” (T), $n = 39$

Przedmiot pomiaru	Sposób pomiaru	Wielkość błędu [m]			
		σ	m_d	m	M
Azymut	T	-0,167	0,516	0,365	0,258
Odl. pozioma	T	0,090	0,165	0,117	0,083

Pomiary wykonane „z ręki” miały mniejszą dokładność niż pomiary wykonane z wykorzystaniem tyczki jako sposobu stabilizacji dalmierza. Średni błąd średniej arytmetycznej z poszczególnych par dla pomiaru wysokości drzewa „z ręki” wyniósł 0,39 m dla obserwatorów I i II, oraz 0,17 m dla obserwatora III. Różnice w wielkości błędu pomiędzy pomiarem wysokości drzew „z ręki” a pomiarem „z tyczki” wyniosły 0,04 m. Największe wartości błędu dla pomiaru odległości poziomej sięgnęły 0,11 m dla pomiaru „z ręki” do detali budynków. Najwyższą zaś dokładność, rzędu 0,028 m, zaobserwowano w pomiarze wysokości drzew z tyczki, gdzie odległość pozioma jest częścią składową tego pomiaru. We wszystkich analizowanych przypadkach pomiar odległości poziomej był dokładniejszy przy wykonaniu „z tyczki”. Określenie odległości poziomych okazało się mniej dokładne (większe wartości błędów) dla detali budynków, określanych tu jako elementy stałe. Pomiar azymutów charakteryzował się większą dokładnością wyznaczenia tego kąta dla detali budynków.

Dyskusja wyników

Wyniki pokazują przewagę pomiarów odległości, azymutu oraz wysokości drzew, prowadzonych z tyczki. Stabilizacja urządzenia zapewnia jego niezmiennie położenie w trakcie wykonywania pomiaru, co ma wpływ na jego dokładność. Osiągane wartości błędów, także przy pomiarach „z ręki”, wydają się być zadowalające z punktu widzenia osób wykonujących pomiary na powierzchniach próbnych. Na dokładność pomiarów wpływa wiele czynników. Są nimi: odległość i kąt padania wiązki światła na powierzchnię obiektu, rodzaj oraz wielkość obiektu, warunki atmosferyczne w trakcie wykonywania pomiaru, stabilność urządzenia, dostępność wizualna obiektu. Na podstawie uzyskanych wyników nie można wskazać przyczyny wystąpienia błędów systematycznych.

Przy pomiarze wysokości drzewa należy brać pod uwagę wychylenie osi wierzchołka drzewa od pnia w miejscu dokonania pomiaru odległości, ponieważ na tej podstawie dokonuje się obliczenia jego wysokości. W przypadku dużego wychylenia powinno się zajmować pozycję pomiarową prostopadłą do płaszczyzny wychylenia. W określaniu pozycji drzewa należy także uwzględnić fakt, że pomiar odbywa się do części obwodowej pnia, wobec czego aby wyznaczyć punkt centralny drzewa należy doliczyć połowę średnicy jego pnia.

Ważne jest aby w chwili pomiaru (wciskania przycisku i kilka sekund po) dalmierz pozostał nieruchomo, nie wykonywał gwałtownych ruchów. W tym czasie kiedy odbywa się pomiar azymutu i kąta pionowego, większe drgania lub ruch mogą powodować błędy. W przypadku pomiaru „z ręki” jest to trudne do osiągnięcia, sytuację poprawia pomiar „z tyczki”.

Inną przyczyną powstawania błędów może być niewłaściwa identyfikacja punktów celowania, a mianowicie wykonywanie pomiarów (celowanie) powyżej lub poniżej wierzchołka drzewa i nasady pnia lub wykonanie któregoś ze składowych pomiaru do innego obiektu. Pomiar wysokości należy prowadzić przy odległości poziomej do drzewa równej lub większej niż jego wysokość.

Dalmierz LaserAce 300 z powodzeniem może służyć do wyznaczania lokalizacji terenowej powierzchni próbnych, wyznaczenia kształtu, kąta nachylenia terenu, wysokości wybranych drzew żywych poszczególnych gatunków oraz innych określonych w szczegółowych wytycznych.

Budowa i ergonomia dalmierza zapewnia sprawny, szybki i intuicyjny pomiar wybranych parametrów. Pewne wątpliwości pozostawia uchwyt łączący dalmierz z tyczką, który nie zapewnia odpowiedniej stabilności i precyzji ustawienia urządzenia w płaszczyźnie wertykalnej (ryzyko poruszenia w momencie wciskania przycisku *fire*). Dodatkowo, większą stabilizację i dokładność pomiarów zapewniłby system podparcia na wielu punktach a nie jednym, jak to ma miejsce w przypadku tyczki (istnieje ryzyko odchylenia od osi).

Wnioski

Badania pozwalają na sformułowanie kilku wniosków istotnych dla praktyki inwentaryzacji lasów, w szczególności dla uzyskania poprawnych informacji o wysokości drzew i drzewostanów.

1. Pomiar należy prowadzić urządzeniem stabilnym i nieruchomym. Tyczka lub wielopunktowy system podparcia poprawia dokładność pomiarów. W przypadku ich braku należy wypracować indywidualny sposób trzymania dalmierza i wykonywania pomiaru, zapewniający jak najwyższą stabilność oraz wykorzystywać elementy naturalne jako punkty podparcia.
2. Pomiary warto prowadzić w dzień bezwietrzny (ruch koron drzew może wpłynąć na dokładność pomiarów) lub z delikatnym wiatrem, nieznacznie poruszającym wierzchołki koron (nie wpływa to na dokładność pomiaru ze względu na małe odchylenia osi drzewa od pionu, a umożliwi prawidłową identyfikację części wierzchołkowej mierzonego drzewa). W zwartych drzewostanach istnieje duże prawdopodobieństwo dokonania pomiaru do niewłaściwej gałęzi należącej do drzewa sąsiedniego, którego korona zachodzi na drzewo mierzone.

3. Wykonując pierwszy pomiar odległości do pnia drzewa należy upewnić się, że na drodze pomiaru nie występują elementy obce, mogące mieć wpływ na pomiar lub go zakłócać. Kolejne fazy pomiaru należy prowadzić w sposób zapewniający niezmiennie położenie środka ciężkości dalmierza we wszystkich płaszczyznach.
4. Pomiar wysokości drzewa należy prowadzić świadomie, na podstawie pomiaru odległości wykonanego w wyższych partiach drzewa, gdy jego dolna część jest zasłonięta przez inne obiekty lub drzewa, na przykład z drugiego piętra drzewostanu.
5. Odległość do mierzonego obiektu zasadniczo nie powinna być mniejsza niż jego wysokość.
6. Przy pomiarze należy uwzględniać wielkość plamki wiązki lasera – pomiar prowadzić do obiektów nie mniejszych niż jej wielkość przy danej odległości (np. drzewa grubsze niż 20 cm dla odległości 50 metrów).
7. Należy zapoznać się z instrukcją obsługi dalmierza LaserAce 300 oraz przestrzegać zawartych w niej zaleceń dotyczących kalibracji i użytkowania.

Literatura

Dalmierz laserowy Laser Ace®300. Instrukcja obsługi. TPI Sp. z o.o., Warszawa.
Kosiński W., 2010: Geodezyjne pomiary szczegółowe. Wyższa Szkoła Gospodarki Krajowej w Kutnie, Kutno.

Abstract

Te paper presents results of the assessment of usefulness of the LaserAce 300 to measure position (horizontal distance and azimuth) and height of trees in stands. Test measurements were made in two variants – with the instrument mounted on a pole and "from hand". Trees and elements of building elevation were measured. The assessment of accuracy (repeatability) of results was based on two measurements of the objects analyzed. Differences in observations were considered as true errors of the differences and on this basis measurement accuracy was estimated. Measurements made from a pole were of higher accuracy. However, the accuracy achieved in case of measurements "from hand" may be also considered satisfactory from the point of view of the needs of forest documentation for test areas.

mgr inż. Bartłomiej Stankiewicz
b.stankiewicz@lodz.lasy.gov.pl
tel. 46 831-01-10

dr hab. inż. Krzysztof Będkowski, prof. SGGW
Krzysztof.Bedkowski@wl.sggw.pl
tel. 22 593-82-22