

LIDAR w leśnictwie

LIDAR in forestry

Tomasz ZAWIŁA-NIEDŹWIECKI, Krzysztof STEREŃCZAK, Radomir BAŁAZY,
Agata WENCEL, Paweł STRZELIŃSKI, Michał ZASADA

Recent research financed by Polish State Forest Organisation and EU InterReg Programme showed usefulness of aerial and terrestrial LIDAR to forest inventory and management. Paper describes: (i) applications of different aerial

LIDAR systems for tree high and tree number measurements as well as digital terrain and digital surface models preparation, and (ii) applications of terrestrial LIDAR for measurements of dbh and tree height.

Wstęp

Liczne prace studialne dotyczące metod inwentaryzacji środowiska obejmują zagadnienia skaningu laserowego. Laser (*Light Amplification by Stimulated Emissions of Radiation*, czyli wzmocnienie światła przez wymuszoną emisję promieniowania), nazywany też wzmacniaczem optycznym, to urządzenie generujące lub wzmacniające spójne promieniowanie elektromagnetyczne w zakresie między ultrafioletem a podczerwienią.

Natomiast LIDAR (*Light Detection And Ranging*) jest aktywnym systemem zdalnego pozyskiwania informacji, wykorzystującym skoncentrowaną wiązkę promieni świetlnych (laserowych), która wysyłana 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. Pomiar czasu od wysłania do powrotu promieniowania służy określeniu odległości od źródła promieniowania do obiektu.

Lidar wykorzystuje promieniowanie w zakresach optycznych (najczęściej bliskiej i średniej podczerwieni), wysyłane w wiązce ciągłej lub pulsacyjnej. Dla celów środowiskowych używa się głównie lotniczych laserów pulsacyjnych o częstotliwości 5000 – 150000 pulsów na sekundę. Prędkość wiązki jest o 0,03% wolniejsza od

światła. Typowy zakres skanowania obejmuje kąt 1–75°, ale najlepszym w zastosowaniach leśnych jest zakres 10–20° (by maksymalizować penetrację wiązki laserowej w głąb drzewostanu), co w zależności od wysokości lotu obejmuje pas obrazowania o szerokości 100–200 m. Terenowy „ślad” pulsu laserowego (tzw. plamka) charakteryzuje się średnicą 5–100 cm.

W zależności od wysokości i prędkości samolotu zmienia się ilość punktów pokrywających określoną powierzchnię terenu, a wraz ze zwiększeniem się wysokości, z której prowadzi się nalot powiększa się promień plamki. Maksymalna rozdzielczość terenowa to 10–20 cm (by ją uzyskać konieczne jest gęste próbkowanie), a dokładność wynosi wertykalnie: ± 10 –20 cm i horyzontalnie ± 11 –15 cm.

Podczas skaningu lotniczego wyznaczanie współrzędnych mierzonych obiektów polega na pomiarze: pozycji sensora (samolotu) za pomocą DGPS (*Differential GPS*), orientacji sensora w trakcie pracy z wykorzystaniem IMU (*Inertial Measurement Unit*) oraz odległości sensora od powierzchni gruntu, obliczonej na podstawie czasu jaki upłynął od wysłania impulsu do zarejestrowania sygnału odbitego.

Aby uzyskać jak najdokładniejszy obraz skanowanego obiektu niektóre firmy (TopoSys) wprowadziły wibrujący sensor (Falcon) przez co wydłużona została linia rejestracji powierzchni ziemi. Powoduje to zagęszczenie próbkowania i zwiększenia ilości pozyskiwanej

w ten sposób informacji. Stosowane zagęszczenie punktów waha się od 1 na 4 m² do 100 na 1 m², a ilość rejestrowanych odbić promieniowania laserowego rozciąga się od 2 (pierwsze i ostatnie), aż do pełnej rejestracji (fullwave).

Natomiast w przypadku lidara terenowego parametry, które powinny cechować skaner wykorzystywany do pomiarów na obszarach zalesionych to: zasięg maksymalny do 100 m, częstotliwość rejestracji min. 10 000 punktów na sekundę, maksymalizacja obszaru rejestracji (optimum to 360° horyzontalnie i co najmniej 300° wertykalnie) oraz dokładność nie gorsza niż 10 mm.

W ostatnich latach Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych oraz program Unii Europejskiej InterReg, finansowały w Polsce badania, które pozwoliły określić zakres przydatności skaningu laserowego w leśnictwie. Badania opisywane w tej pracy prowadziły Wydziały Leśne SGGW w Warszawie i Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, Nadleśnictwo Świeradów oraz Uniwersytet Nauk Stosowanych w Eberswalde (Niemcy) przy współpracy Laboratorium Teledetekcji i Systemów Informacji Krajobrazowych (FeLIS) Uniwersytetu we Freiburgu (Niemcy) oraz firmy TreeMetrics z Cork (Irlandia).

Prace szczególnie koncentrowały się na określaniu struktury pionowej i poziomej drzewostanów oraz automatycznej inwentaryzacji parametrów drzew, ale także na modelowaniu powodzi i erozji gleb. Artykuł przedstawia podsumowanie dotychczasowych wyników badań w tym zakresie.

Materiały i metoda

Badania prowadzono głównie na terenie Regionalnych Dyrekcji Lasów Państwowych we Wrocławiu, Szczecinie i Szczecinku: nadleśnictwa Świeradów i Szklarska Poręba – Leśny Kompleks Promocyjny (LKP) Sudety Zachodnie oraz Milicz, Gryfino i Sławno.

Wykorzystywano dwa typy zobrazowań lidarowych: lotniczy i terenowy. W pracach stosowano oprogramo-

wanie TreesVis (FeLIS), Halcon (MVTec Software GmbH), TreeMetrics, ERDAS Imagine, ArcGIS (ESRI) oraz Quick Terrain Modeler (Applied Imagery).

Skaning lotniczy

Skaning lotniczy dla obu głównych poligonów badawczych wykonywany był z wykorzystaniem różnych skanerów, a więc uzyskano dane o różnych parametrach (tabela 1).

W ramach prac przygotowawczych dokonano referencji do terenowych powierzchni próbnych (250 w Nadleśnictwie Milicz i 50 w LKP Sudety Zachodnie). Następnie wygenerowano numeryczny model pokrycia terenu (NMPT) o rozdzielczości 0,25, 0,5 i 1 m oraz numeryczny model terenu (NMT) o rozdzielczości 1 m, a także model różnicowy (NMPT-NMT) o rozdzielczości 0,25, 0,5 i 1 m.

Segmentacja drzewostanów na homogeniczne części wykonywana była na podstawie surowych danych pierwszego i ostatniego odbicia (które służyły do generacji modelu różnicowego i analizy struktury drzewostanów, określania liczby drzew na jednostkę powierzchni, ich klasyfikację gatunkową) oraz na podstawie zdjęć cyfrowych RGB i IR, które służyły do weryfikacji wyników.

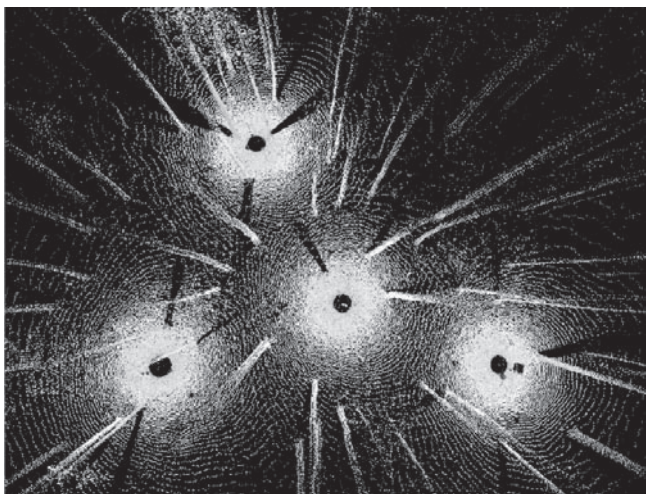
Skaning terenowy

Do skaningu terenowego wykorzystano laser FARO LS880, jego podstawowe parametry to: zasięg maksymalny: 74 m, częstotliwość: 120 kHz, błąd liniowy: 3 mm na 10 m, długość fali lasera: 785 nm, wielkość plamki na wyjściu: 3 mm, pionowy kąt skanowania: 320 stopni, poziomy kąt skanowania: 360 stopni.

Skanowania dokonywano z 1, 3 lub 4 lokalizacji (ryc. 1) na każdej powierzchni badawczej (stałe lub czasowe powierzchnie inwentaryzacyjne). Pozyskanie kilku skanów z jednej powierzchni (optymalnie 3) pozawalało na utworzenie pełnego obrazu 3D. Obok zasadnicze-

Tabela 1. Parametry skaningu lotniczego dla poszczególnych poligonów badawczych
Table 1. Aerial scanning parameters for particular test sites

Parametr <i>Parameter</i>	Nadleśnictwo Milicz <i>Milicz Forest District</i>	LKP Sudety Zachodnie <i>LKP Western Sudety Mts.</i>
Skaner <i>Scanner</i>	TopoSys (Falcon System)	Optech ALTM 3100
Zakres spektralny <i>Spectral range</i>	1540 nm	1047 nm
Kąt skanowania <i>Scanning angle</i>	14,3° (+/-7°)	18°
Wysokość przelotu <i>Flying height</i>	700 m	700 m
Wielkość plamki <i>Footprint size</i>	0,7 m	0,21 m
Gęstość próbkowania na m ² <i>Number of pulses per m²</i>	5–7	4
Liczba odbić <i>Number of return signals</i>	2	4



Ryc. 1. Model powierzchni testowej utworzony z chmur punktów zarejestrowanych z czterech pozycji skanera.

Fig. 1. Model of test site created from cloud of points registered from four scanner location.

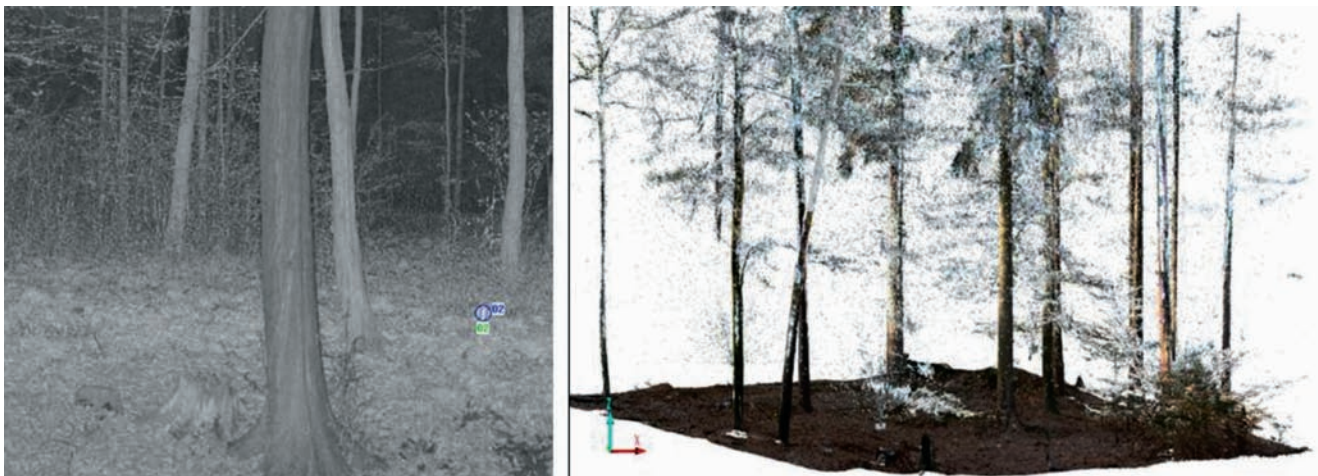
liwa była identyfikacja poszczególnych drzew, a co za tym idzie – porównanie wyników pomiarów na skanach z danymi referencyjnymi.

Wyniki

Skaning lotniczy

Dane z lotniczego skanowania laserowego (ryc. 3) wykorzystane zostały do automatycznego określenia wysokości drzew (ryc. 4) i liczby drzew na jednostkę powierzchni. Zastosowana metoda bazuje na modelu 2.5D, więc tylko analiza górnej warstwy drzewostanu brana była pod uwagę.

Dodatkowo przeprowadzono doświadczenie z określaniem zasięgów homogenicznych partii drzewostanów. W tym celu zastosowano metodę opracowaną przez Koch i in. (2006), modyfikując jedynie sposób klasyfikacji drzewostanów na iglaste i liściaste w oparciu o współczynnik NDVI i kanał czerwony lotniczego zdjęcia cyfrowego.

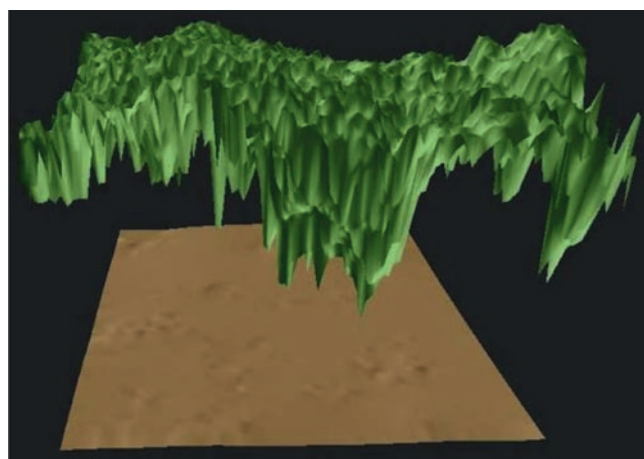


Ryc. 2. Fragment obrazu lidarowego drzewostanu utworzony z chmury punktów oraz obraz lidarowy powierzchni badawczej z nałożoną teksturą ze zdjęcia fotograficznego.

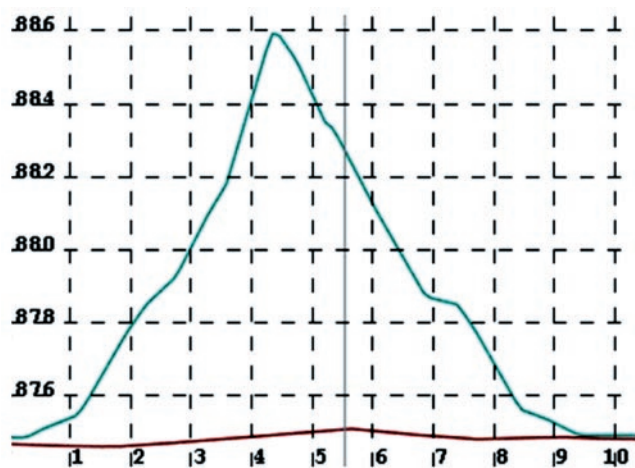
Fig. 2. Forest stands visualisation with the use of scanned cloud of points and with photographic texture superimposed.

go skaningu, wykonywano fotografie kamerą cyfrową (Nikon D70s z obiektywem Nikkor AF DX 10,5 mm f/2,8G ED), zintegrowaną ze skanerem laserowym. W efekcie, obok chmury punktów, otrzymano serię zdjęć, co pozwalało na spreparowanie fotorealistycznego modelu 3D dla badanego obszaru (ryc. 2).

Jednym z typów danych uzyskiwanych w trakcie skaningu laserowego jest obraz intensywności, stanowiący panoramiczne zobrazowanie obszaru (360 stopni w poziomie i 320 w pionie). Ponieważ jest to obraz w pełni kartometryczny, może być wykorzystany m.in. do wykonania pomiarów odległości od skanera do poszczególnych punktów, a także odległości pomiędzy punktami. Z wykorzystaniem takiego właśnie zobrazowania zostały pomierzone pierśnice i wysokości poszczególnych drzew. Na podstawie obrazu intensywności oraz modelu 3D określone zostały gatunki oraz precyzyjna lokalizacja drzew na powierzchniach, dzięki czemu moż-



Ryc. 3. NMT o rozdzielczości 1 m (brązowy) i NMPT o rozdzielczości 0,5 m (zielony) zwizualizowany w przestrzeni 3D.
Fig. 3. DTM of 1 m resolution (brown) and DSM of 0,5 m resolution (green) visualised in 3D.



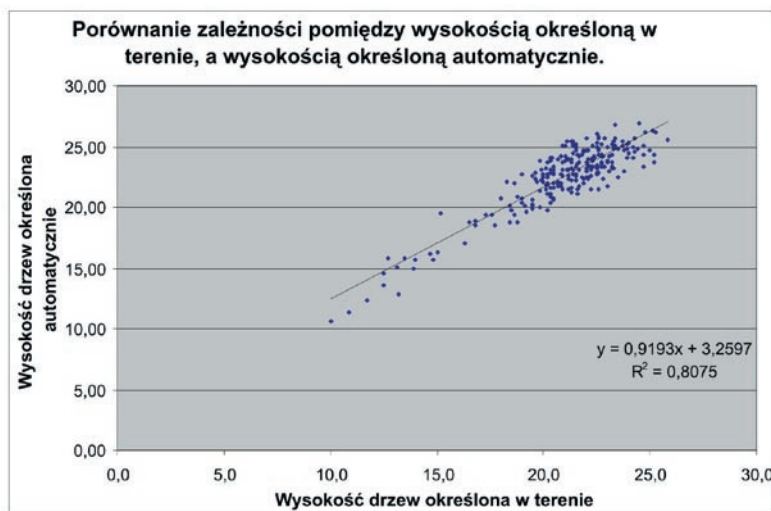
Ryc. 4. Przykład określania wysokości drzew poprzez porównanie NMPT (linia niebieska) i NMT (linia czerwona).

Fig. 4. Tree height measurement with the use of DSM (blue line) and DTM (red line).

Do porównania wyników określania wysokości z danych LIDAR-owych i pomiarów terenowych wykorzystano 242 drzewa. Pochodziły one z 23 powierzchni próbnych, na których gatunkiem panującym była sosna (*Pinus sylvestris* L.). Do analizy wyselekcjonowano tylko te drzewa, które uzyskano w trakcie segmentacji automatycznej, a które połączono z drzewami pomierzonymi w terenie, uzyskując wielkość współczynnika determinacji R^2 powyżej 0,8 (ryc. 5).

Średnia wysokość drzewa dla pomiarów naziemnych (21,07 m) jest o 1,55 m (7,4%) mniejsza od średniej wysokości, tych samych drzew, określonej w oparciu o różnicowy model terenu uzyskany z danych LIDAR-owych. Maksymalnie różnica wysokości i dla jednego drzewa sięgnęła 28%.

Taka zależność pomiędzy uzyskanymi wynikami określania wysokości jest dość szczególna. Generalnie



Ryc. 5. Korelacja wysokości drzew pomierzonych w terenie i na podstawie NMPT.

Fig. 5. Corelation between tree heights measured in the field and from DSM.

w literaturze (Buddenbaum, Seeling 2006; Coops i in. 2004; Heurich, Weinacker 2004; Maltamo i in. 2004) wyniki pokazują, iż to dane LIDAR-owe zaniżają wysokość drzew w odniesieniu do danych referencyjnych z pomiarów naziemnych. W przypadku prezentowanych badań sytuacja jest odwrotna. Jest to nietypowe o tyle, że wartości wysokości odczytywane były z modelu, który już jest pewnym uogólnieniem opisywanej przez niego powierzchni i raczej wygładza jej kształt. Dodatkowo NMT w warunkach leśnych raczej zawyża wartość „z” poszczególnych pikseli z tytułu gęstego runa i małej liczby punktów LIDAR-owych docierających do dna lasu. Reasumując, każdy piksel stworzonego różnicowego modelu terenu powinien mieć, o co najmniej kilkadziesiąt centymetrów mniejszą wartość wysokości od rzeczywistej wysokości powierzchni.

Powodem takiej sytuacji może być pojawiający się w danych LIDAR-owych błąd systematyczny lub błędy występujące w określaniu wysokości w trakcie inwentaryzacji naziemnej.

Do określania ilości drzew wykorzystano algorytm wyszukujący lokalne maksima (Dorren i in. 2006). W tym celu wydzielano w różnicowym modelu terenu pięciometrowe warstwy wysokościowe i dla każdej z nich stosowano podwójną filtrację filtrem Gaussa. Specyfika algorytmu pozwala na analizowanie jedynie górnej warstwy drzewostanu, która opisana jest przez różnicowy model terenu.

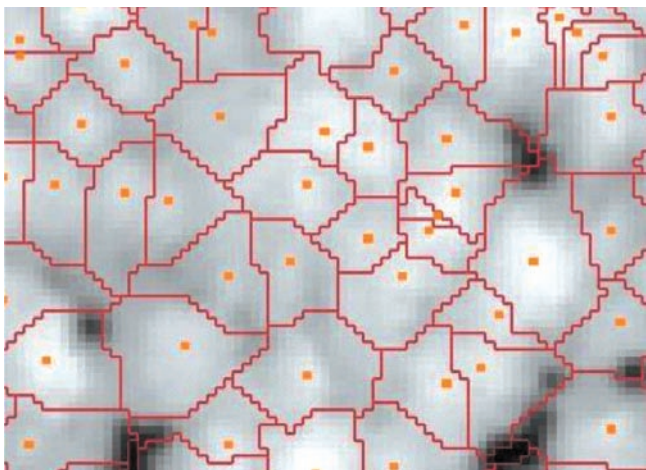
W pierwszej kolejności przeanalizowano 25 powierzchni próbnych gdzie gatunkami panującymi były: sosna pospolita, dąb (*Quercus* sp.) i buk (*Fagus sylvatica* L.). Spośród 517 drzew rosnących na tych powierzchniach, wykorzystany algorytm znalazł 396 drzew, co stanowiło 77% ogólnej ich liczby. Biorąc pod uwagę wiek drzewostanów (od 33 do 152 lat) wynik ten można uznać za zadowalający.

W drugiej kolejności analizom poddano wyłącznie starsze (powyżej 50 lat) drzewostany sosnowe. Spośród 255 drzew algorytm znalazł automatycznie 218, co stanowiło 86% wszystkich drzew. Także w tym przypadku osiągnięty wynik uznano za zadowalający.

W trakcie określania ilości drzew wykorzystano również *growing algorithm* do określania zasięgów koron (ryc. 6). Algorytm ten odbudowuje koronę „rosnąc” w każdym kierunku, do momentu spotkania korony sąsiedniej.

Okazało się jednak, że nie jest to odpowiednia metoda gdyż nie uwzględnia zmienności osobniczej koron. Prowadzone są już próby zastąpienia algorytmu „rosnącego” algorytmem *pouring* (Stereńczak i in., 2008). Doświadczenia innych badaczy wykazują, że obecnie jest on najlepszym sposobem określenia zasięgu drzew (Weinacker i in. 2004).

Przeprowadzone doświadczenie z wykorzystaniem w warunkach polskich metody



Ryc. 6. Zasięg koron wygenerowany na podstawie danych ze skaningu lotniczego.

Fig. 6. Tree crown extend modelling with the use of scanning data.

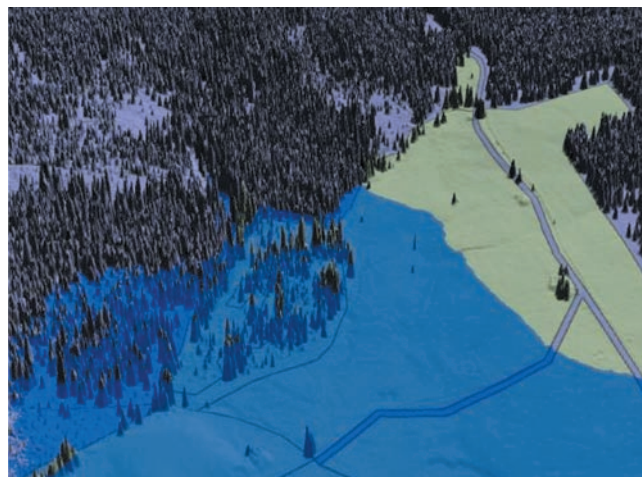
określania granic homogenicznych części drzewostanu przyniosły zadowalające wyniki. Dzięki jej zastosowaniu otrzymano dużo bogatszą informację o strukturze przestrzennej pojedynczych wydziałów. Stosowany dotychczas w Polsce wektorowy model danych nie daje takiej możliwości prezentowania zróżnicowania wewnątrz drzewostanu. Biorąc pod uwagę ekologizację polskiej gospodarki leśnej, informacja o parametrach wydziału będzie coraz bogatsza. Może to spowodować poszukiwanie nowego rodzaju informacji prezentowanej w postaci warstwy rastrowej lub wektorowej. Wydaje się, że wykorzystanie metody zaproponowanej przez Koch i in. (2006) znajdzie uznanie praktyki leśnej.

Oprócz analiz parametrów drzew i drzewostanów, dane ze skaningu lotniczego wykorzystano także do modelowania zjawisk powodziowych i erozji gleb (Bałazy i in., 2008). W kontekście nasilających się w ostatnich latach powodzi, szczególnego znaczenia nabiera możliwość analizowania szkód w oparciu o numeryczny model terenu z nałożoną warstwą ortofoto. Daje to podstawę nie tylko do np. oceny zasięgu fali powodziowej, ale także do wizualizacji konkretnych partii drzewostanów (a nawet pojedynczych drzew), które będą narażone na zalania i uszkodzenia (ryc. 7).

Nieco bardziej zaawansowane analizy dotyczą projektowania budowli wodnych, na przykład wałów przeciwpowodziowych (ryc. 8). Natomiast analizy przestrzenne, obejmujące między innymi występowanie typów gleb, nachylenia terenu i jego nasłonecznienia, wykorzystywane były do określania zagrożenia erozyjnego, lokalizacji plantacji limby (*Pinus cembra*) oraz optymalnego przebiegu nartostrady w paśmie Gór Izerkich (ryc. 9).

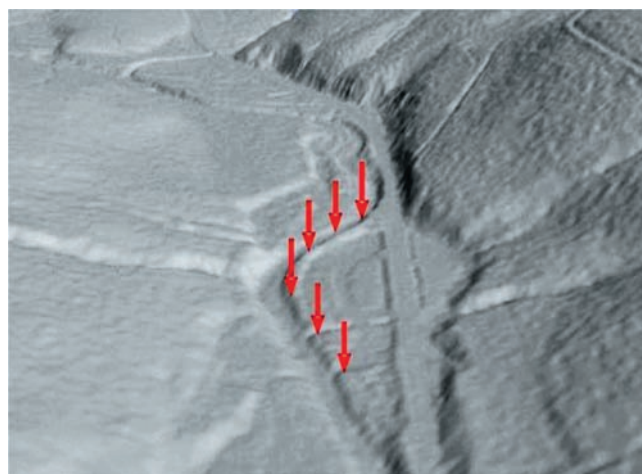
Skaning terenowy

Terenowy skaning laserowy, wykonano między innymi na powierzchni zlokalizowanej na terenie Nadle-



Ryc. 7. Wizualizacja sytuacji powodziowej z wykorzystaniem NMT i leśnej mapy numerycznej na wybranym fragmencie Nadleśnictwa Świeradów.

Fig. 7. Flooding in the part of Świeradów Forest District visualised on digital surface model with forest map superimposed.



Ryc. 8. Wykorzystanie NMT do projektowania wałów przeciwpowodziowych w Nadleśnictwie Świeradów.

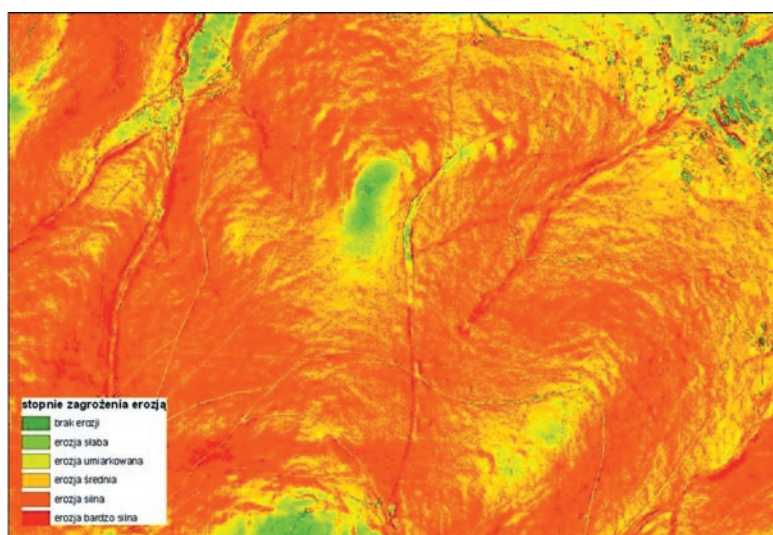
Fig. 8. The use of DTM for designing of protection dam in Świeradów Forest District.

śnictwa Sławno. Zestawienie wyników pomiarów LIDAR-owych z danymi referencyjnymi wskazuje, że dane laserowe są niedoszacowane zarówno w odniesieniu do pomiarów pierśnicy, jak i wysokości (tab. 2). W przypadku pomiarów pierśnicy średnia różnica to 2,4 cm, a wysokości 2,7 m (Zawiła-Niedźwiecki i in., 2007). Należy jednak podkreślić, że różnice te mogą wynikać zarówno z błędów lub niedokładności przy pomiarach terenowych, jak i tych wykonywanych na skanach. Obie te metody mogą być obciążone pewnym błędem związanym z subiektywnością pomiarów. Niemniej, jak widać na wykresach (ryc. 10 i 11), występuje duża zbieżność wyników co pozwala oczekiwać, że dalsze doskonalenie metody może przynieść efekt w postaci dokładnych i wiarygodnych informacji o poszczególnych drzewach i całym drzewostanie.

Tabela 2. Zestawienie wyników ze skaningu laserowego z danymi referencyjnymi.

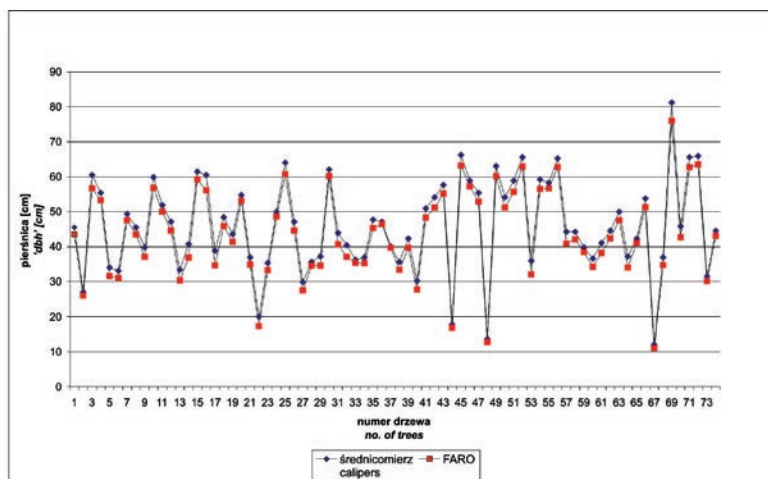
Table 2. Track record of date from laser scanning vs. reference date.

Nr drzewa Number of tree	gatunek species	pomiar measurements		skaningu laserowego laser scanning		różnica difference	
		pierśnica 'dbh' [cm]	wysokość height [m]	pierśnica 'dbh' [cm]	wysokość height [m]	pierśnica 'dbh' [cm]	wysokość height [m]
1	Buk (<i>Beech</i>)	45,5	31,0	43,5	27,4	2,0	3,6
2	Jodła (<i>Fir</i>)	27,1	25,0	26	23,2	1,1	1,8
3	Świerk (<i>Spruce</i>)	60,5	35,0	56,7	32,4	3,8	2,6
4	Jodła (<i>Fir</i>)	55,4	36,0	53,3	32,3	2,1	3,7
5	Buk (<i>Beech</i>)	34,1	32,0	31,6	28,0	2,5	4,0
...
74	Sosna (<i>Pine</i>)	44,6	37,0	43,1	35,8	1,5	1,2
średnia (dla wszystkich drzew)						2,4	2,7
<i>average (of all trees)</i>							



Ryc. 9. Analiza podatności na erozję w rejonie planowanej trasy narciarskiej na Stogu Izerskim.

Fig. 9. Soil erosion risk map in Stog Izerski Mnt.

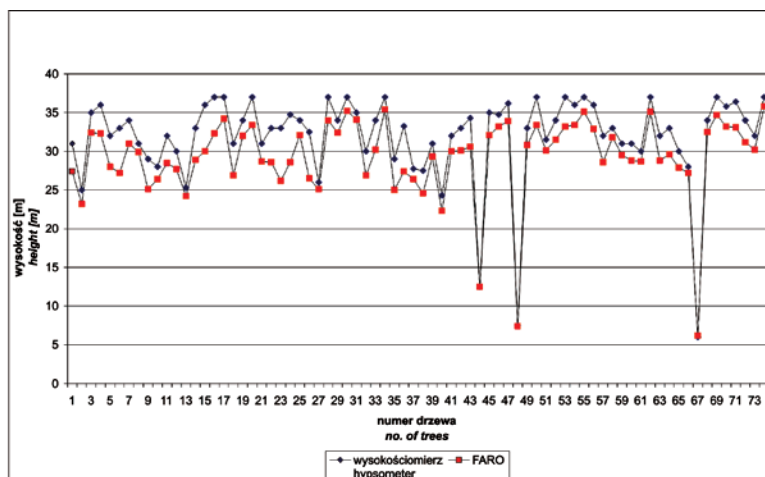


Ryc. 10. Porównanie wyników pomiaru pierśnic w Nadleśnictwie Sławno.

Fig. 10. Comparison of 'dbh' surveying results in Forest District Sławno.

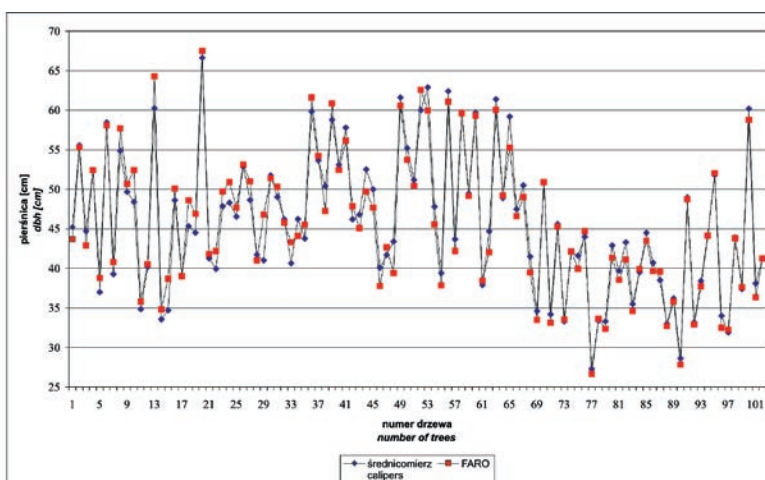
Ryc. 11. Porównanie wyników pomiaru wysokości w Nadleśnictwie Sławno.

Fig. 11. Comparison of height surveying results in Forest District Sławno.



Ryc. 12. Porównanie wyników pomiaru pierśnic w Nadleśnictwie Gryfino.

Fig. 12. Comparison of 'dbh' surveying results in Forest District Gryfino.



Dużo większą zgodność pomiarów przyjętych za referencyjne (wykonane za pomocą średnicomierza) z wynikami skaningu laserowego uzyskano na powierzchniach w Nadleśnictwie Gryfino (ryc. 12). W trzech drzewostanach do pomiarów wytypowano łącznie 102 buki. Średnia różnica pomiędzy pomiarem tradycyjnym (średnicomierz) a skanerem wyniosła 0,07 cm (Wencel i in., 2007).

Niewątpliwie znaczenie ma tutaj struktura kory mierzonych drzew, gdzie – zwłaszcza przy analizach obrazu intensywności – w przypadku buka stosunkowo łatwo można zidentyfikować piksele obrazujące drzewo lub jego otoczenie.

Wnioski

Wyniki prezentowanych prac pozwoliły na stwierdzenie użyteczności skaningu laserowego nie tylko do tworzenia numerycznego modelu terenu i modelu pokrycia terenu, ale także do określania szeregu parametrów lasów i drzewostanów, a także do prowadzenia działalności gospodarczej w lasach.

Przedstawione w pracy przykłady zastosowania najnowszych technologii geomatycznych do analiz leśnych pozwalają na sformułowanie wniosku, że synergiczne wykorzystanie różnych technologii geomatycznych po-

zwala na dokładne odtworzenie rzeczywistych warunków środowiskowych, a tym samym – na dokładne modelowanie stanu lasu i zjawisk w nim zachodzących.

Literatura

- Bałazy R., Strzełiński P., Zawila-Niedźwiecki T., 2008, Technologie geomatyczne w analizie zjawisk wodnych na przykładzie LKP „Sudety Zachodnie” (Geomatics technologies in hydrographical analysis – case studies based on sound ecology promotion forest „Western Sudety Mountains”. *Studia i Materiały Centrum Edukacji Przyrodniczo-Leśnej, Rogów*, R. 10, zeszyt 2(18): 263–275.
- Buddenbaum H., Seeling S., 2006, *Estimating structural forest attributes using high resolution, airborne hyperspectral and lidar imagery*. Workshop on 3D Remote Sensing in Forestry, Wiena, Austria.
- Coops N.C., Wulder M.A., Culvenor D.S., St-Onge B., 2004, Comparison of forest attributes extracted from fine spatial resolution multispectral and lidar data. *Canadian Journal of Remote Sensing* nr 6, 855–866.
- Dorren L., Maier B., Berger F., 2006, *Assessing protection forest structure with airborne laser scanning in steep mountainous terrain*. Workshop on 3D Remote Sensing in Forestry, Wiena, Austria.
- Heurich M., Weinacker H., 2004, *Automated tree detection and measurement in temperate forest of central Europe using laserscanning data*. “Laser-Scanners for Forest and Landscape Assessment”, WG VIII/2. Freiburg, Germany.

- Koch B., Heyder U., Straub Ch., Weinecker H., 2006, *3D data for forest and environment planning*. Workshop on 3D Remote Sensing in Forestry, Viena, Austria.
- Maltamo M., Mustonen K., Hyypä J., Pitkanen J., Yu.X., 2004, The accuracy of estimating individual tree variables with airborne laser scanning in boreal nature reserve. *Canadian Journal of Forest Research* 34: 1791–1801.
- Stereńczak K., Będkowski K., Weinacker H., 2008, *Accuracy of crown segmentation and estimation of selected trees and forest stand parameters in order to resolution of used DSM and nDSM models generated from dense small footprint LIDAR data*. ISPRS Congress. Beijin, China (w druku).
- Weinacker H., Koch B., Heyder U., Weinacker R., 2004, Development of Filtering, Segmentation and Modelling Modules for LIDAR and Multispectral data as a Fundament of an Automatic Forest Inventory System. *Proceedings of the ISPRS working group VIII/2 Laser-Scanners for Forest and Landscape Assessment*, Freiburg., ISSN 1682, 1750.
- Wencel A., Strzeliński P., Zawila-Niedźwiecki T., Chirrek M., 2007, *Terrestrial laser scanning for forest inventory and carbon sequestration. ForestSat'07, scientific workshop "Forest and Remote sensing: Methods and Operational Tools"*. Montpellier – France, November 5–7, 2007 [http://forestsat.teledetection.fr].
- Zawila-Niedźwiecki T., Strzeliński P., Wencel A., Chirrek M., 2007, Laserowy skaner naziemny w badaniach ekosystemów leśnych (Terrestrial laser scanner in forest ecosystems surveys), [W:] Medyńska-Gulij B., Kaczmarek L. (red.), *Informacja geograficzna w kształtowaniu i ochronie środowiska przyrodniczego*, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, s. 197–207.



Prof. dr hab. Tomasz Zawila-Niedźwiecki – jest absolwentem Wydziału Leśnego SGGW. Zajmuje się teledetekcją lasu i środowiska oraz zastosowaniem systemów informacji przestrzennych. Pracował w Instytucie Badawczym Leśnictwa, Instytucie Geodezji i Kartografii, Katedrze Teledetekcji i Urządzenia Lasu Uniwersytetu w Gandawie oraz w Wyższej Szkole Ekologii i Zarządzania w Warszawie. Od 2002 roku jest profesorem na Wydziale Lasu i Środowiska Uniwersytetu Nauk Stosowanych w Eberswalde, Alfred-Möller-Str. 1; 16225 Eberswalde, Niemcy; e-mail: tzawila@fh-eberswalde.de; http://www.fh-eberswalde.de/zawila; tel. +49 3334 65478.



Mgr inż. Krzysztof Stereńczak – jest absolwentem Wydziału Leśnego SGGW. Pracował w Instytucie Badawczym Leśnictwa. Jest słuchaczem stacjonarnych studiów doktoranckich na Wydziale Leśnym SGGW. Zajmuje się wykorzystaniem LIDARA lotniczego w leśnictwie. Katedra Urządzenia Lasu, Geomatyki i Ekonomiki Leśnictwa; Zakład Systemów Informacji Przestrzennej i Geodezji Leśnej; Wydział Leśny; SGGW ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa, e-mail: Krzysztof.Sterenczak@wl.sggw.pl; http://wl.sggw.waw.pl; tel. +48 22 59 38217.



Mgr inż. Radomir Bałazy – jest absolwentem Wydziału Leśnego Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu. Zajmuje się GIS-em oraz wykorzystaniem nowoczesnych technik geomatycznych w leśnictwie. Pracuje w Państwowym Gospodarstwie Leśnym Lasy Państwowe, w Nadleśnictwie Świeradów, ul. 11-go Listopada 1, 59-850 Świeradów Zdrój, e-mail: radomir.balazy@wroclaw.lasy.gov.pl; http://www.wroclaw.lasy.gov.pl; tel. +48 75 7816333.



Mgr inż. Agata Wencel – jest absolwentką Wydziału Leśnego Akademii Rolniczej w Poznaniu. Zajmuje się zastosowaniami terenowego skaningu laserowego w inwentaryzacji lasu. Jest słuchaczką stacjonarnych studiów doktoranckich w Katedrze Urządzenia Lasu Uniwersytetu Przyrodniczego, ul. Wojska Polskiego 28, 60-637 Poznań; e-mail: wencel@au.poznan.pl; http://www.au.poznan.pl/kul/; tel. +48 61 8487663.



Dr inż. Paweł Strzeliński – jest absolwentem Wydziału Leśnego Akademii Rolniczej w Poznaniu. Zajmuje się urządzeniem lasu i zastosowaniem geomatyki w leśnictwie. Pracuje w Katedrze Urządzenia Lasu Uniwersytetu Przyrodniczego, ul. Wojska Polskiego 28, 60-637 Poznań; e-mail: strzelin@au.poznan.pl; http://www.au.poznan.pl/kul/; tel. +48 61 8487667.



Dr hab. Michał Zasada – jest absolwentem Wydziału Leśnego SGGW. Zajmuje się dendrometrią, nauką o produktywności lasu, urządzeniem lasu i modelowaniem wzrostu drzewostanów. Od 1993 roku pracuje na Wydziale Leśnym SGGW w Warszawie, obecnie na stanowisku adiunkta. W latach 2001–2004 pracował na Wydziale Leśnym Uniwersytetu Stanu Georgia w Athens, USA, zajmując się długookresowym modelowaniem zmian zasobów leśnych w skali regionalnej. Samodzielny Zakład Dendrometrii i Nauki o Produkcyjności Lasu, Wydział Leśny SGGW; Nowoursynowska 159; 02-767 Warszawa; email: Michal.Zasada@wl.sggw.pl; http://wl.sggw.waw.pl; tel. +48 2259 38089.