

## WYKORZYSTANIE TECHNOLOGII NAZIEMNEGO SKANINGU LASEROWEGO W INWENTARYZACJI LASU

### THE USE OF TERRESTRIAL LASER SCANNING TECHNOLOGY IN FOREST INVENTORY

**Marcin Chirrek<sup>1</sup>, Paweł Strzeliński<sup>1</sup>, Agata Wencel<sup>1</sup>, Michał Zasada<sup>2</sup>,  
Tomasz Zawila-Niedźwiecki<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Zakład Urządzania Lasu, Katedra Urządzania Lasu, Wydział Leśny, Akademia Rolnicza w Poznaniu

<sup>2</sup>Katedra Urządzania Lasu, Geomatyki i Ekonomiki Leśnictwa, Wydział Leśny, SGGW

<sup>3</sup>Wydział Leśny, Uniwersytet Nauk Stosowanych w Eberswalde (Niemcy)

**Słowa kluczowe: lidar, naziemny skaner laserowy, inwentaryzacja lasu**  
Keywords: lidar, terrestrial laser scanner, forest inventory

## Wstęp

W zakresie prac urzędzeniowych najbardziej czasochłonnym elementem jest inwentaryzacja lasu, opierająca się głównie na bezpośrednim pomiarze parametrów taksacyjnych drzew i drzewostanów. Dlatego też dużą nadzieję pokłada się w wysokorozdzielczych metodach teledetekcyjnych. Do nich należy m.in. LIDAR (*LIght Detection And Ranging*), który jest aktywnym systemem zdalnego pozyskiwania informacji, wykorzystującym skoncentrowaną wiązkę promieni świetlnych (laserowych). Spośród teledetekcyjnych zastosowań technologii lidarowej w badaniach przyrodniczych wykorzystuje się laserowy skaningu satelitarny, lotniczy oraz naziemny. W badaniach ekosystemów leśnych najdłużej i najszerzej wykorzystywany jest skaningu lotniczy, natomiast naziemny skaningu laserowy to technologia ostatnich kilku lat. Przeprowadzone do tej pory badania pozwoliły stwierdzić jej duży potencjał – zarówno badawczy, jak i praktyczny, zwłaszcza przy rejestracji i pomiarze różnych cech środowiska leśnego.

Thies i Spiecker (2004) na podstawie badań nad laserowym skaningu naziemnym, przeprowadzanych dotąd głównie w Skandynawii, Niemczech i Ameryce Północnej, wymieniają możliwości pomiaru następujących cech drzewostanu:

- cechy taksacyjne stosowane powszechnie w ramach urzędzeniowej inwentaryzacji lasu: pierśnica, wysokość drzew, długość korony, szerokość korony, długość pnia wolnego od gałęzi, zwarcie koron, zagęszczenie drzew na 1ha, gatunek (Watt i in., 2003; Pfeifer i Winterhalder, 2004),

- cechy taksacyjne stosowane w pracach badawczych: grubość na różnych wysokościach, zbieżność pnia, indeks powierzchni liściowej, defoliacja korony, kąt nasady gałęzi, pionowy profil zmienności biomasy, położenie pnia w przestrzeni 3D (Aschoff i in., 2004).

Dane te służą mogą następnie do określenia cech pochodnych (np. pierścnicowego pola przekroju czy miąższości drzew i drzewostanów) oraz do budowy modeli pozwalających na uzyskanie pełniejszej informacji o lesie (np. modeli kształtu podłużnego pni drzew). Bruchwald (2004) zaznacza, że automatyczna identyfikacja drzew na podstawie skanów laserowych pozwalając między innymi na określenie zagęszczenia drzew w drzewostanie, może być źródłem informacji do stosowania modeli wzrostu jako narzędzi wspomagających pomiar lasu.

W Polsce technologię tę zaczęto wykorzystywać m.in. w ramach projektu badawczego *Opracowanie metody inwentaryzacji lasu opartej na integracji danych pozyskiwanych różnymi technikami geomatycznymi*, zleconego przez Generalną Dyрекcję Lasów Państwowych i przewidzianego do realizacji w latach 2006-2008. Celem projektu jest wyselekcjonowanie sposobów zdalnej rejestracji obrazu lasu użytecznych w leśnictwie oraz opracowanie metody inwentaryzacji lasu opartej na wybranych technikach geomatycznych, w tym – na technologii naziemnego skaningu laserowego (Zawila-Niedźwiecki i in., 2004). Całość prac jest koordynowana przez Wydział Leśny SGGW w Warszawie.

## Naziemny skaner laserowy

Bienert i in. (2006) określił następujące parametry, które powinny cechować skaner wykorzystywany do pomiarów w lesie: zasięg maksymalny od 20 do 100 m, częstotliwość rejestracji min. 10 000 punktów na sekundę, z możliwością rejestracji obrazu panoramicznego oraz dokładnością nie mniejszą niż 10 mm. Między innymi na tej podstawie do testów wytypowano laser FARO LS880 o następujących parametrach (<http://www.faro.com>):

- zasięg maksymalny: 76m,
- częstotliwość: 120 kHz,
- błąd liniowy: 3mm na 10 m,
- długość fali lasera: 785 nm,
- wielkość plamki na wyjściu: 3 mm,
- pionowy kąt skanowania: 320 stopni,
- poziomy kąt skanowania: 360 stopni.

Obok zasadniczego skaninowania, urządzenie umożliwia zarejestrowanie obszaru pomiarowego kamerą cyfrową (Nikon D70s lub Nikon D200 z obiektywem Nikkor AF DX 10.5mm f/2.8G ED), zintegrowaną ze skanerem laserowym. W efekcie, obok chmury punktów, otrzymuje się serię zdjęć, co pozwala na opracowanie fotorealistycznego modelu 3D dla badanego obszaru (rys. 1).

## Teren badań i metody

Głównym poligonem badawczym, na którym testowano naziemny skaner laserowy, były powierzchnie wytypowane na terenie Nadleśnictwa Milicz (listopad 2006). Kolejne testy przeprowadzono w nadleśnictwach: Sławno (grudzień 2006), Chojna (luty 2007), Zielonka (marzec 2007), Grodzisk (kwiecień 2007). Większość testów przeprowadzana była w drzewostanach sosnowych (Milicz, Grodzisk), natomiast testy w Sławnie dotyczyły jodły, w Chojnie buka, a w Zielonce dęba.

W trakcie testów sprawdzano różne rozwiązania dotyczące zarówno liczby skanów na jednej powierzchni (od jednego do czterech), jak i tworzenia fotorealistycznego obrazu 3D. Otrzymane (w różnym oprogramowaniu) wyniki, w zakresie dokładności, czasu trwania pomiarów (i potencjalnych kosztów) oraz zakresu zebranych informacji odniesiono do tradycyjnych metod stosowanych w trakcie inwentaryzacji lasu. Większość danych zbierana była na powierzchniach kołowych w następujących wariantach (rys. 2):

- 1 skan ze środka powierzchni,
- 3 skany umieszczone w trójkącie,
- 4 skany – wariant będący połączeniem wersji pierwszej i drugiej.

W Sławnie<sup>1</sup>, ze względu na istniejącą już kwadratową powierzchnię próbną skanowaniem objęto 4 punkty pomiarowe, położone w narożnikach kwadratu o boku 12,5 m. Pozwoliło to na porównanie wyników skanowania z wynikami zebranymi innymi metodami.

Pomiary referencyjne wykorzystywane przy porównaniach obejmowały (Zawiła-Niedźwiecki i in., 2007):

- pomiar wszystkich pierśnic w dwóch prostopadłych kierunkach z dokładnością do 1 mm za pomocą średnicomierza,
- na powierzchni w Nadleśnictwie Sławno (0,50 ha) – pomiar 20% wysokości dla każdego gatunku z dokładnością do 0,5 m oraz co najmniej jedną wysokość w każdym reprezentowanym stopniu grubości, przy użyciu wysokościomierza Suunto,
- na powierzchni w Nadleśnictwie Milicz (0,04 ha) – pomiar wszystkich wysokości z dokładnością do 0,5 m, przy użyciu wysokościomierza Suunto,
- azymut ze środka powierzchni próbnej do drzewa (z dokładnością do 1°);
- odległość (od środka powierzchni z wysokości 1,3 m do pobocznic drzewa na wysokości 1,3 m od podstawy pnia).

Pomiary na wynikach skaningu wykonywane były różnymi metodami i z wykorzystaniem różnego rodzaju oprogramowania (FARO Scene – FARO; AutoStem – Treemetrics). Pomiary pierśnic i wysokości wykonywane były na podstawie obrazu intensywności, określanie gatunku i lokalizacja drzewa w drzewostanie na podstawie obrazu 3D. Część analiz została również wykonana z wykorzystaniem narzędzi umożliwiających automatyczne określenie pierśnicy, wysokości i miąższości drzew (AutoStem – Treemetrics).

<sup>1</sup> Pomiary wykonano w ramach projektu badawczego finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego (nr 2 P06L 017 30) *Występowanie, rola i wpływ na ekosystemy leśne jodły pospolitej (Abies alba Mill.) na obszarze Bałtyckiej Krainy przyrodniczo-leśnej*.

## Wyniki i podsumowanie

Tabela 1 przedstawia zestawienie danych z powierzchni (oddział 87f) w Sławnie. W przypadku pomiarów pierśnicy średnia różnica wyniosła 2,4 cm, a w przypadku wysokości 2,7 m.

Tabela 2 z kolei przedstawia zestawienie danych dla 15 drzew powierzchni próbnej nr 27 w Miliczu. Średnia różnica w pomiarze pierśnicy wynosi 1,5 cm, a w przypadku pomiaru wysokości – 0,3 m.

Z powyższych zestawień wynika, że pomiary wykonywane na podstawie skaningu charakteryzuje niedoszacowanie zarówno w przypadku pomiarów pierśnicy, jak i wysokości.

**Tabela 1.** Zestawienie wyników ze skaningu laserowego z danymi referencyjnymi (Nadleśnictwo Sławno, oddział 87f)

Nr	Rodzaj	Pomiary referencyjne		Skaner		Różnica	
		D1,3 [cm]	H [m]	D1,3 [cm]	H [m]	D1,3 [cm]	H [m]
1.	Buk	45,5	31,0	43,5	27,4	2,0	3,6
2.	Jodła	27,1	25,0	26,0	23,2	1,1	1,8
3.	Świerk	60,5	35,0	56,7	32,4	3,8	2,6
4.	Jodła	55,4	36,0	53,3	32,3	2,1	3,7
5.	Buk	34,1	32,0	31,6	28,0	2,5	4,0
6.	Buk	33,1	33,0	31,1	27,2	2,0	5,8
7.	Buk	49,4	34,0	47,6	31,0	1,8	3,0
8.	Sosna	45,5	31,0	43,5	29,9	2,0	1,1
9.	Buk	39,8	29,0	37,1	25,1	2,7	3,9
10.	Jodła	59,9	28,0	56,9	26,4	3,0	1,6
11.	Jodła	51,9	32,0	50,0	28,5	1,9	3,5
12.	Jodła	47,1	30,0	44,6	27,7	2,5	2,3
13.	Buk	33,4	25,3	30,4	24,2	3,0	1,1
14.	Sosna	40,8	33,0	36,9	28,9	3,9	4,1
15.	Świerk	61,5	36,0	59,2	30,0	2,3	6,0
16.	Świerk	60,5	37,0	56,1	32,3	4,4	4,7
17.	Buk	38,9	37,0	34,7	34,2	4,2	2,8
18.	Sosna	48,4	31,0	45,9	26,9	2,5	4,1
19.	Sosna	43,6	34,0	41,4	32,0	2,2	2,0
20.	Sosna	54,8	37,0	53,1	33,4	1,7	3,6
...	...	...	...	...	...	...	...
74.	Sosna	44,6	37,0	43,1	35,8	1,5	1,2
Średnia						2,4	2,7

**Tabela 2.** Zestawienie wyników ze skaningu laserowego z danymi referencyjnymi (Nadleśnictwo Milicz, powierzchnia nr 27)

Nr	Rodzaj	Pomiary referencyjne		Skaner		Różnica	
		D1,3 [cm]	H [m]	D1,3 [cm]	H [m]	D1,3 [cm]	H [m]
1.	Sosna	32,5	20,8	30,7	22,0	1,8	-1,2
2.	Sosna	34,2	22,1	31,9	24,0	2,3	-1,9
3.	Sosna	24,6	21,4	23,7	18,6	0,9	2,8
4.	Sosna	35,5	21,5	35,3	23,0	0,2	-1,5
5.	Sosna	33,0	22,7	30,8	23,0	2, 2	-0,3
6.	Sosna	24,6	22,1	24,6	25,0	0,0	-2,9
7.	Sosna	30,9	23,2	31,3	20,0	-0,4	3,2
8.	Sosna	30,0	22,8	27,3	19,0	2,7	3,8
9.	Sosna	26,2	21,3	22,5	22,0	3,7	-0,7
10.	Sosna	26,4	22,7	23,6	22,7	2,8	0,0
11.	Sosna	29,0	21,9	26,3	20,4	2,7	1,5
12.	Sosna	32,0	22,5	29,6	23,0	2,4	-0,5
13.	Sosna	27,2	22,7	27,7	23,0	-0,4	-0,3
14.	Sosna	35,5	24,4	33,9	27,0	1,6	-2,6
15.	Sosna	26,6	20,7	26,5	25,0	0,1	-4,3
Średnia						1,5	-0,3

Zależnie od zastosowanych metod i rodzaju drzewostanu wielkości te zmieniały się. Należy jednak podkreślić, że różnice te mogą wynikać zarówno z błędów przy pomiarach wykonywanych ze skaningu, jak i z niedokładności pomiarów referencyjnych (np. nieodpowiedni kierunek pomiaru klasycznego w stosunku do pola widzenia skanera). Obie metody mogą być obciążone pewnym błędem związanym z subiektywnością pomiarów. Niemniej jednak zauważalna jest duża zbieżność wyników, co pozwala oczekiwać, że dalsze doskonalenie metody może przynieść efekt w postaci dokładnych i wiarygodnych informacji o poszczególnych drzewach i drzewostanie.

### Literatura

- 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 S. 2006: Analysis of the information content of terrestrial laserscanner point clouds for the automatic determination of forest inventory parameters. Workshop on 3D Remote Sensing in Forestry, 14th-15th Feb. 2006, Vienna – Session 2b, pp.1-6.
- Bruchwald A., 2004: Metody modelowania matematycznego przy sporządzaniu planu urządzania lasu. Urządzenie lasu wielofunkcyjnego. Fundacja „Rozwój SGGW”, s. 171-180.
- 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.

- 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, Umea, Sweden, pp. 237-244.
- 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, pp. 192-197.
- Zawila-Niedźwiecki T., Miścicki S., Zasada M., Wencel A. 2006: Nowe kierunki pomiaru lasu z wykorzystaniem narzędzi teledetekcyjnych. *Roczniki Geomatyki*, Tom IV, Zeszyt 4, s. 155-168, PTIP Warszawa.
- Zawila-Niedźwiecki T., Strzeliński P., Wencel A., Chirrek M., 2007: Laserowy skaner naziemny w badaniach ekosystemów leśnych. [W:] Medyńska-Gulij B. i Kaczmarek L. (red.). *Informacja geograficzna w kształtowaniu i ochronie środowiska przyrodniczego*. Poznań, Wyd. Ornatus, s. 145-165.

### Summary

*Terrestrial laser scanning (TLS) is the technology of the last few years. Within wide areas of its application, a big potential has been found for scientific and operational use of this technique to register and measure various characteristic features of forest environment.*

*In Poland, the technology has been applied, among others, within the framework of the research project entitled „Forest inventory based on integration of various different geomatics techniques”, commissioned by the General Directorate of State Forests to be implemented in the years 2006–2008. The goal of the project is to select methods of remote data collection suitable for forestry uses and to elaborate a forest inventory method based on selected geomatic techniques, including TLS technology. FARO LS 880 scanner was selected for the project.*

*The main research area consists of sample plots located in the Milicz forest district. Consecutive tests were performed in Sławno, Chojna, Zielonka and Grodzisk forest districts. Tests of various variants of data collection and processing were performed. The obtained results concerning measurement accuracy and the scope of collected data were compared with traditional forest inventory methods.*

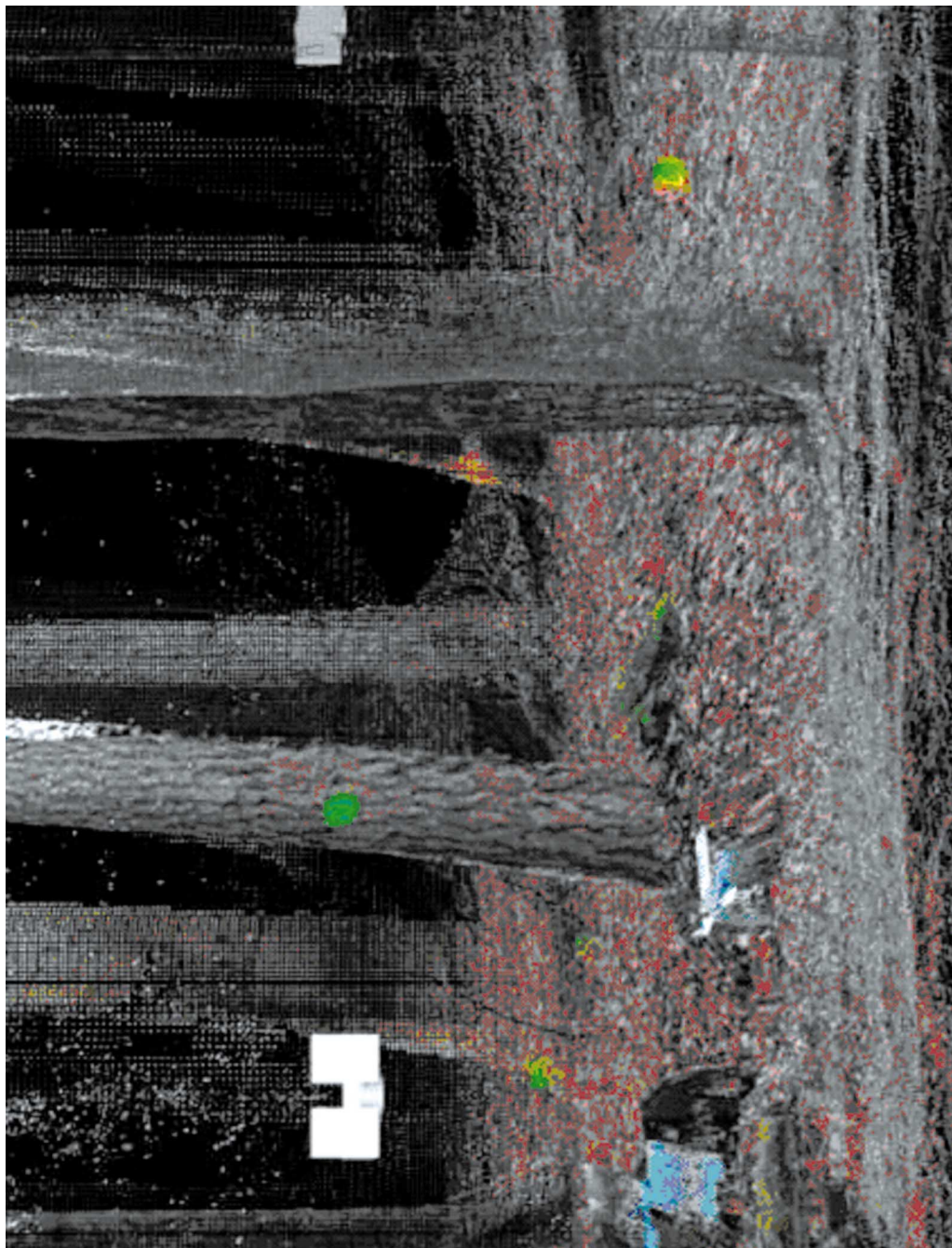
mgr inż. Marcin Chirrek  
doktorant w Zakładzie  
Urządzenia Lasu, AR w Poznaniu  
chirrek@au.poznan.pl  
<http://www.au.poznan.pl/kul/>

dr inż. Paweł Strzeliński  
strzelin@au.poznan.pl  
<http://www.au.poznan.pl/kul/>

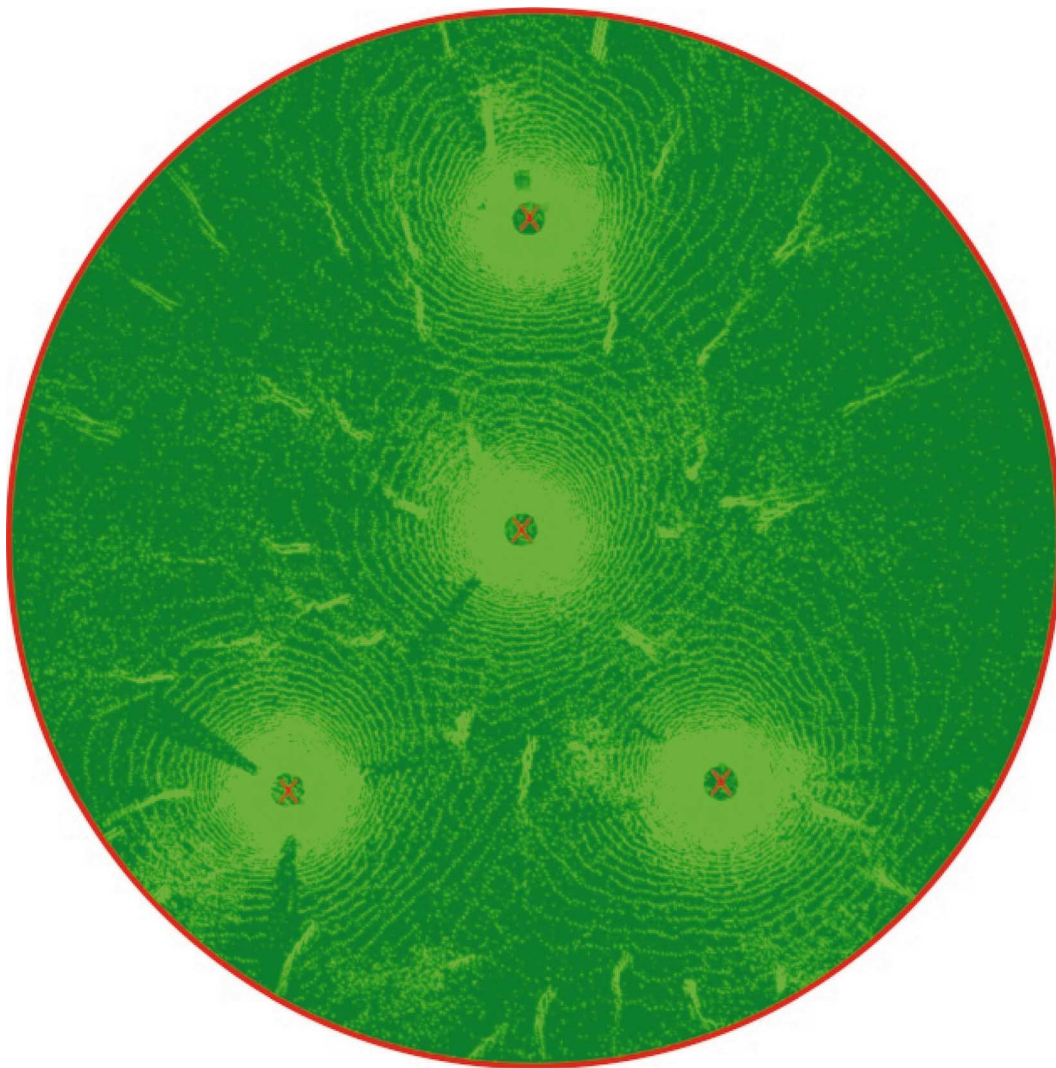
mgr inż. Agata Wencel  
doktorantka w Zakładzie  
Urządzenia Lasu, AR w Poznaniu  
agata.wencel@au.poznan.pl  
<http://www.au.poznan.pl/kul/>

dr inż. Michał Zasada  
Michal.Zasada@wl.sggw.pl  
<http://wl.sggw.waw.pl>

prof. dr hab. inż. Tomasz Zawila-Niedźwiecki  
tzawila@fh-eberswalde.de  
<http://www.fh-eberswalde.de/zawila>  
tel. +49 3334 65478



**Rys. 1.** Fotorealistyczny model 3D powierzchni próbnej – Nadleśnictwo Sławno



**Rys. 2.** Schemat rozmieszczenia stanowisk skanera w wariacie „4 skanery”;  
w tle obraz chmury punktów w rzucie pionowym – Nadleśnictwo Sławno