

# Dąb Bartek 3D – naziemne skanowanie laserowe 3D pomników przyrody – nowy wymiar edukacji przyrodniczej

*Piotr Wężyk, Marta Szostak, Piotr Rysiak, Karolina Zięba, Paweł Hawryło, Michał Ratajczak*

**Abstrakt.** Chmura punktów z naziemnego skanowania laserowego (TLS) dostarcza kompletnej i szczegółowej informacji o kształcie i wymiarach obiektu, ale także, dzięki pomiarowi intensywności odbicia wiązki lasera oraz informacji RGB ze zdjęć, o jego fakturze i barwie. Właściwości te sprawiają, iż można wygenerować animacje komputerowe 3D, znakomicie obrazujące relacje przestrzenne pomiędzy obiektem a jego otoczeniem. Jednym z celów projektu badawczego „Bartek 3D”, realizowanego w oparciu o technologie LiDAR (Light Detection And Ranging) było opracowanie modelu 3D pomnikowego dębu szypułkowego „Bartek” oraz przygotowanie prezentacji multimedialnych, które mogą być doskonałym elementem edukacji przyrodniczo-leśnej. Skanowanie i geodezyjne pomiary naziemne „Bartka” wykonano w okresie bezlistnym (kwiecień 2013 i 2014) i powtórzono w sezonie wegetacyjnym (lipiec 2013, październik 2014). Wykorzystano w tym celu nowoczesne skanery naziemne: FARO FOCUS 3D (AGH w Krakowie, IBL Warszawa oraz TPI sp. z o.o.), Leica C10 (AGH), RIEGL VZ-400 (Laser-3D), a także skaner triangulacyjny RevScan (HandyScan; Creaform; Casp System). Klasyfikacja chmury punktów TLS realizowana była w module oprogramowania TerraScan (Terrasolid Ltd.), a modelowanie 3D w różnego typu rozwiązaniach z zakresu CAD, m.in.: 3DReshaper (TECHNODIGIT), Geomagic (3DSystems) oraz SketchUp (Trimble). Do opracowania prezentacji multimedialnej (nagranie wideo) wykorzystano aplikację Bentley Pointools V8i firmy Bentley Systems.

**Słowa kluczowe:** naziemne skanowanie laserowe (TLS), skaner triangulacyjny, modelowanie 3D

**Abstract.** *Bartek 3D – 3D Terrestrial Laser Scanning of natural monuments – a new dimension in environmental education.* Point cloud generated using Terrestrial Laser Scanning gives complete information about the geometry of an object and thanks to simultaneously collected images, about its color variability. These properties makes the production of computer animations relatively easy. Such animation perfectly presents the spatial relationships between the object and its surroundings. One of the main goal of the “Bartek 3D” project was to create the 3D model of the monument tree “Dąb Bartek” and to prepare a digital 3D presentations, which can be used for environmental education. The traditional ground measurements (hypso-

VERTEX Haglöf; SUUNTO; tape) were performed during the leaf-off season in April 2013 and April 2014 and repeated in leaf-on period in July 2013 and October 2014 using FARO FOCUS 3D scanner (courtesy of AGH in Krakow, IBL Warsaw and TPI Ltd.), VZ-400 (RIEGL; Laser-3D), scanner Leica C10 (AGH) and triangulation scanner RevScan (HandyScan; courtesy Casp System) were used. The point cloud filtration and classification was performed using TerraScan (Terrasolid) and various CAD trial solutions like: 3DReshaper (TECHNODIGIT) and Geomagic (3DSystems). The results based on TLS technology showed some differences comparing to existing data obtained by traditional methods. For creation of the described video presentation the Bentley Pointools V8i (Bentley Systems) software was used.

**Key words:** Terrestrial Laser Scanning (TLS), triangulation scanner, 3D modeling

## Wprowadzenie

W kwietniu 2013 r. w Laboratorium Geomatyki Wydziału Leśnego Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie uruchomiono autorski projekt „Bartek 3D” w celu monitorowania stanu pomnikowego dębu szypułkowego „Bartek” w Zagnańsku. Realizację prac zaplanowano na różne okresy fenologiczne, tzn. na okres spoczynkowy (listopad-kwiecień), kiedy drzewo pozbawione jest całkowicie aparatu asymilacyjnego oraz w fazie wegetacji, tj. maksymalnego ulistnienia (maj-październik). Jako cel projektu założono opracowanie modelu 3D drzewa oraz analizę archiwalnych materiałów kartograficznych wraz z integracją wieloźródłowych danych w środowisku GIS. Działania realizowano przy współdziałaniu pracowników, doktorantów i studentów z Sekcji Studenckich Kół Naukowych z Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, Uniwersytetu Pedagogicznego w Krakowie oraz Uniwersytetu Jagiellońskiego. Patronat nad projektem objęła Generalna Dyrekcja Ochrony Środowiska, Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych w Warszawie, Gmina Zagnańsk oraz Nadleśnictwo Zagnańsk. Projekt oparto na wykorzystaniu bardzo dynamicznie rozwijanej od około kilkunastu lat technologii skanowania laserowego, znanej także pod nazwą LiDAR (ang. Light Detection and Ranging). Za cel przyjęto monitoring Dębu Bartek prowadzony na drodze cyklicznego naziemnego skanowania laserowego (ang. Terrestrial Laser Scanning; TLS) oraz lotniczego skanowania laserowego (ang. Airborne Laser Scanning; ALS).

Skanowanie laserowe jest rewolucyjną technologią w różnych dziedzinach nauki i gospodarki, związanych z monitorowaniem środowiska przyrodniczego (Andersen i in. 2006, Holmgren i Jonsson 2004, Hyypä i in. 2004, McGaughey i in. 2004, Szostak i in. 2014, Wężyk i in. 2013). Istotą jest pomiar odległości i kąta badanego obiektu od skanera. W tej metodzie pomiarowej wykorzystywane jest światło lasera do pozyskania geometrycznego modelu 3d skanowanego obiektu. Produktem jest chmura punktów, która nie tylko dostarcza kompletnej informacji o kształcie i wymiarach obiektu, ale także, dzięki pomiarowi intensywności odbicia wiązki lasera, o jego fakturze i zróżnicowaniu kolorystycznym. Właściwo-

ści te powodują, że w stosunkowo prosty sposób można wygenerować z chmury punktów animacje komputerowe znakomicie obrazujące relacje przestrzenne pomiędzy obiektem a jego otoczeniem. Powszechna jest integracja skanera z aparatem cyfrowym, dzięki czemu, równocześnie zbierana jest dokumentacja fotograficzna, którą można później w prosty sposób nałożyć na chmurę punktów jako teksturę.

Pomiar parametrów drzew i drzewostanów z wykorzystaniem technologii skanowania laserowego jest od kilkunastu lat przedmiotem intensywnych badań i praktycznych wdrożeń (Bienert i in. 2006, Fernández-Sarria i in. 2013, Henning i Radtke 2006, Lichti i in. 2002, Pfeifer i Winterhalder 2004, Poeschel 2013, Tompalski 2009, Tompalski i Kozioł 2008, Watt i Donoghue 2005, Wężyk 2008, 2010, Wężyk i Sroga 2010, Wężyk i Tompalski 2010, Wężyk i in. 2008, 2009). Skanowanie naziemne pojedynczych drzew lub drzewostanów przeprowadza się zazwyczaj w trybie jednostanowiskowym (np. ze środka powierzchni kołowej) lub wielostanowiskowym (np. 4 lub więcej stanowisk) co wydłuża oczywiście czas pracy w terenie, ale zapewnia możliwość pozyskania danych reprezentujących w pełni pnie drzew (3D), a nie tylko fragmentów płaszczyzny walca obserwowanych z jednej pozycji. Podczas skanowania stosuje się najczęściej lokalny układ współrzędnych (0,0,0), gdyż zdecydowana większość skanerów naziemnych nie posiada zintegrowanego odbiornika GNSS (GPS) ani też elektronicznego kompasu. Stąd w celu połączenia ze sobą chmur punktów z poszczególnych stanowisk stosuje się np. specjalne kule referencyjne o znanym promieniu i wysokim albedo. Identyfikowalne na obrazach (np. min 3 z 5 kul) pozwalają na uzyskanie reprezentacji 3D drzewostanu, jego wizualizację i dalsze analizy np. wpasowania figur geometrycznych.

## Obiekt badań i metodyka

Dąb Bartek (dąb szypułkowy *Quercus robur L.*) jest jednym z najstarszych i najgrubszych drzew pomnikowych w Polsce (ryc. 1). Rośnie w Zagnańsku, w województwie świętokrzyskim (50°59'14N 20°38'59E). Od 1954 r. jest chroniony jako pomnik przyrody. Jego wiek szacowany jest na 600-1000 lat. Od wielu lat jest przedmiotem wielokierunkowych opracowań i publikacji, które przyczyniają się do popularyzacji wiedzy o drzewie i do jego ochrony.

Skanowanie i pomiary naziemne (tradycyjne) Dębu Bartek wykonano w okresie bezlistnym (kwiecień 2013 i 2014) i ulistnionym (lipiec 2013, październik 2014). Wykorzystano nowoczesne skanery naziemne: FARO FOCUS 3D (dzięki uprzejmości AGH w Krakowie, IBL i TPI Sp. z o.o.), VZ-400 (RIEGL; Laser-3D) oraz Leica C10 (AGH). Chmury punktów TLS pozyskano każdorazowo z kilkunastu stanowisk: 13 stanowisk FARO FOCUS 3D (ryc. 1), Leica C10 – 4 stanowiska oraz RIEGL VZ-400 – 23 stanowiska. Dla wpasowania skanów wykorzystano 20 sfer referencyjnych. W lipcu 2013 r. wykonano także precyzyjne skanowanie pnia drzewa skanerem triangulacyjnym RevScan (HandyScan; Creaform; dzięki uprzejmości Casp System; ryc. 2).



**Ryc. 1.** Lokalizacja skanera i sfer (skaner FARO FOCUS 3D)  
*Fig. 1. Location of the scanner and spheres*



**Ryc. 2.** Skaner triangulacyjny RevScan (Handy Scan; lipiec 2013)  
*Fig. 2. RevScan triangulation scanner*

Proces powstawania trójwymiarowego modelu na podstawie danych LiDAR składa się z dwóch zasadniczych etapów – skanowania, a następnie przetwarzania pozyskanych danych. Chmura punktów powstała w wyniku skanowania jest produktem pierwotnym, jednak w większości przypadków produktem końcowym jest forma CAD zapisana wektorowo. Dostępnych jest wiele programów, które pozwalają na konwersję chmury punktów do modelu CAD. Często jest to jeszcze proces manualny, a więc czasochłonny, szczególnie w przypadku obiektów o większym skomplikowaniu, z dużą liczbą szczegółów. Przed rozpoczęciem analizy należy ustalić cel modelowania i określić żądany stopień szczegółowości. Następnym krokiem jest wybór odpowiedniego oprogramowania, które pozwoli osiągnąć założony cel.

Do opracowania omawianej prezentacji multimedialnej w postaci nagrania wideo wykorzystano aplikację Bentley Pointools V8i firmy Bentley Systems. Jest to zaawansowane narzędzie do wizualizacji oraz analizy danych pochodzących ze skanowania laserowego. Program daje możliwość płynnej wizualizacji nawet miliardów punktów, na komputerze średniej klasy. Umożliwia import chmury punktów w różnych formatach oraz zaawansowane narzędzia do wizualizacji danych, m.in. generowanie cieniowania, czy eksport obrazów chmury w rzucie perspektywicznym o wysokiej rozdzielczości, renderując kadry dowolnego rozmiaru. Aplikacja Bentley Pointools zapewnia także intuicyjny, oparty o oś czasu system przeglądania danych i animacji obiektów do szybkiej i łatwej produkcji filmów. Rendering z opcją tzw. „antialiasing” oraz rozmycie ruchu kamery umożliwiają tworzenie wysokiej jakości animacji z ograniczonym zniekształceniem obrazu, co może wynikać ze zbyt małej częstości próbkowania.



**Ryc. 3.** Proces renderowania filmu „Dąb Bartek – naziemne skanowanie laserowe” obrazującego chmurę punktów pochodzącą z naziemnego skanowania laserowego w październiku 2014 (RIEGL VZ-400; Laser3D)

*Fig. 3. The process of rendering the film “The Oak Bartek - ground-based laser scanning” imaging point cloud originating from terrestrial laser scanning in October 2014*

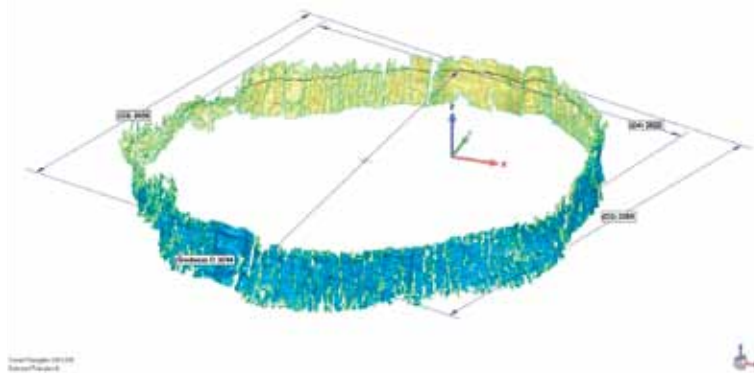
## Wyniki

Otrzymane wyniki pomiarów Dębu Bartek technologią TLS wykazały różnice w stosunku do istniejących danych jakie uważano za referencyjne (tablice informacyjne; Janicki 1987) lub określone metodami tradycyjnymi podczas projektu w kwietniu 2013:

- **wysokość drzewa** pomierzona wysokościomierzem Haglöf Vertex: HREF = 29,31 m (tablica informacyjna: 30.0 m); analiza chmury punktów TLS: HTLS = 28,49 m;
- **obwód pnia** pomierzony naciągniętą taśmą mierniczą: Ln = 9,80 m natomiast przylegającą do załamania i szczeliny kory pnia: Lp = 13,70 m; obwód pnia drzewa na podstawie

- chmury punktów 3D bez opcji wygładzenia płaszczyzny kory: LTLS = 13,51 m oraz opcja z wygładzonymi krawędziami (funkcja Simplify Polygon) i tolerancją 10 cm: L3D = 10,90 m oraz tolerancją 50 cm: L3D = 10,55 m;
- **średnia pierśnica** (d1,3) drzewa obliczona na podstawie pola przekroju TLS 3D: d1.3 TLS = 3,24 m;
  - **pole pierścicowego przekroju**: g (tablice informacyjne) = 7,74 m<sup>2</sup>, natomiast g TLS = 7,12 m<sup>2</sup>;
  - **średnice pnia** na wysokości pierśnicy (130 cm od gruntu) na kierunkach: N-STLS: 3,25 m oraz W-ETLS: 3,65 m;
  - **powierzchnia rzutu korony** drzewa: Atablica informacyjna = 720 m<sup>2</sup>; ATLS = 604 m<sup>2</sup>;
  - **zasięgi rzutu korony** na kierunkach: N-STLS: 37,95 m oraz W-ETLS: 32,48 m;
  - **miąższość całego drzewa**: Vtablica informacyjna = 72 m<sup>3</sup>; VTLS = 122,5 m<sup>3</sup>.

Bardzo precyzyjne pomiary pnia skanerem triangulacyjnym RevScan (HandyScan; Casp System) pozwoliły na szczegółowe wyznaczenie pola przekroju (g) oraz obwodu pnia (L), które wyniosły odpowiednio: 7,01 m<sup>2</sup> oraz 10,33 m i te w zasadzie należy dziś uznać za referencyjne, ze względu na precyzję pomiarów tym urządzeniem.



**Ryc. 4.** Wizualizacja modelu wycinka pierśnicy uzyskana skanerem triangulacyjnym RevScan (HandyScan; oprogramowanie Geomagic)

*Fig. 4. Visualization of DBH slice model obtained by RevScan triangulation scanner*

Efektom finalnym opracowania chmur punktów z naziemnego skanowania laserowego było przygotowanie filmu (udostępniony na Youtube.com), który może zostać wykorzystany dla edukacji przyrodniczej w aspekcie prezentacji Dębu Bartek z wykorzystaniem różnych efektów wizualnych. Do produkcji filmu „Dąb Bartek – naziemne skanowanie laserowe” wykorzystano 23 oddzielne, pokolorowane wartościami RGB chmury punktów, pozyskane w październiku 2014 skanerem RIEGL VZ-400. Chmury punktów TLS zostały zaimportowane w formacie \*.pod (automatyczna konwersja w programie Bentley Pointools V8i plików z formatu \*las w \*pod). Następnie zdefiniowano typ animacji, wybierając swobodny lot kamery oraz oznaczono ścieżkę lotu, wyznaczoną poprzez 56 kolejnych pozycji kamery. Określono czas trwania sceny animacji na 1 min 30 sek. oraz liczbę 25 klatek na sekundę. W kreatorze animacji wybrano opcję utrzymania stałej prędkości kamery. W celu zapisania

powstałej animacji w formacie \*.avi lub \*.mov, zdefiniowano parametry renderowania, tj.: rozdzielczość optymalną: HDTV (1280 x 720), stosunek pikseli: 1.0, sterowniki (popularny XviD) oraz jakość wyjściowego pliku wideo, dostosowaną do potrzeb wyświetlania. Czas renderowania uzależniony jest od długości ścieżki animacji i jakości tworzonego filmu. W omawianym przypadku czas generowania animowanego obrazu wyniósł ponad 28 godzin. Produktem projektu jest film zapisany w formacie \*.avi oraz \*.mov przygotowany do odtwarzania przez wszystkie odtwarzacze multimedialne (ryc. 5).



**Ryc. 5.** Film udostępniony w najpopularniejszym serwisie wideo online (aplikacja YouTube)  
*Fig. 5. Film released at the leading online video site*

## Wnioski

Przedstawione nowatorskie podejście do udostępniania produktów przetworzeń danych uzyskiwanych dzięki technologii naziemnego skanowania laserowego szerszej grupie odbiorców, powinno znaleźć swe właściwe miejsce we współczesnej metodyce edukacji przyrodniczo-leśnej społeczeństwa na różnych jego szczeblach. Z chmury punktów TLS można wygenerować animacje komputerowe wirtualnej rzeczywistości (ang. virtual reality), znakomicie obrazujące aktualny stan obiektu przyrodniczego oraz relacje przestrzenne pomiędzy obiektem a jego otoczeniem. Przetworzone dane z naziemnego skanowania laserowego mogą stanowić nowy wymiar edukacji przyrodniczej i doskonałą bazę dla opracowania modeli 3D pomników przyrody. Nowoczesne technologie pomiarowe otwierają możliwości automatyzacji przetwarzania danych i umożliwiają przyjęcie innych niż dotychczas tradycyjnie stosowanych rozwiązań inwentaryzacji, monitoringu i udostępniania obiektów podlegających ochronie przyrody. Wykorzystanie skanowania laserowego dla zinwentaryzowania obecnego stanu Dęba Bartka pozwoliło nie tylko na precyzyjne wyznaczenie jego wysokości czy objętości, ale także na utworzenie wirtualnego modelu 3D. Ponadto chmury punktów TLS dają możliwość oceny wyglądu Dęba Bartka w roku 2013, 2014 oraz cyklicznie w kolejnych latach, co może zostać wykorzystane do oceny statyki drzewa oraz monitorowania stanu zdro-

wotnego. Ważnym, choć na pewno nie ostatnim aspektem wykorzystania technologii TLS jest możliwość udostępniania i edukacji z zakresu ochrony przyrody osobom niepełnosprawnym, dla których jest to praktycznie jedyny sposób wirtualnej wędrowki wokół „Bartka”.

## Literatura

- Andersen H. E., Reutebuch S. E., Mcgaughey R. J. 2006. A rigorous assessment of tree height measurements obtained using airborne lidar and conventional field methods. *Canadian Journal of Remote Sensing*. 32 (5): 355-366.
- Bienert A., Scheller S., Keane E., Mullooly G., Mohan F. 2006. Application of Terrestrial Laser-scanners for the Determination of Forest Inventory Parameters. W: Maas H.-G. i Schneider D.: *Image Engineering and Vision Metrology. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. XXXVI, part 5. Dresden. 25-27.09.2006.
- Fernández-Sarriá A., Velázquez-Martí B., Sajdak M., Martínez L., Estornell J. 2013. Residual biomass calculation from individual tree architecture using terrestrial laser scanner and ground-level measurements. *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 93, p. 90-97
- Henning J. G., Radtke P. J. 2006. Detailed Stem Measurements of Standing Trees from Ground Based Scanning Lidar. *Forest Science*, Vol: 52 (1): 67-80.
- Holmgren J., Jonsson T. 2004. Large Scale Airborne Laser Scanning of Forest Resources in Sweden. Proc. of the ISPRS working group VII/2 “Laser-Scanners for Forest and Landscape Assessment”. Freiburg, Germany: *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. XXXVI, 8/W2: 157-160.
- Hyypä J., Hyypä H., Litkey P., Yu X., Haggren H., Rönholm P., Pyysalo U., Pitkanen J., Maltamo M. 2004. Algorithms and methods of airborne laser-scanning for forest measurements. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing, and Spatial Information Sciences*. 36, 8: 1682-1750.
- Janicki S. 1987. Dąb Bartek. Kielce.
- Licht D. D., Gordon S. J., Stewart M. P. 2002. Ground-Based Laser Scanners: Operation, Systems and Applications. *Geomatica*, Vol: 56 (1): 21-33.
- McGaughey R. J., Carson W., Reutebuch S., Andersen H.E. 2004. Direct measurement of individual tree characteristics from lidar data. *Proceedings of the Annual ASPRS Conference*. Denver. American Society of Photogrammetry and Remote Sensing.
- pheifer N., Winterhalder D. 2004. Modelling of Tree Cross Sections from Terrestrial Laser-Scanning Data with Free-Form Curves. W: M. Thies, B. Koch, H. Spiecker i Weinacker H.: *Laser-Scanners for Forest and Landscape Assessment. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. XXXVI – 8/W2. Freiburg, Germany. 03-06.10.2004, p.76-81.
- Pueschel P. 2013. The influence of scanner parameters on the extraction of tree metrics from FARO Photon 120 terrestrial laser scans. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Volume 78: 58-68.
- Szostak M., Wężyk P., Tompalski P. 2014. Aerial Orthophoto and Airborne Laser Scanning as Monitoring Tools for Land Cover Dynamics: A Case Study from the Milicz Forest District (Poland). *Pure and Applied Geophysics*, Vol. 171, No.6: 857-866.



- Tompalski P. 2009. Naziemny skaning laserowy w inwentaryzacji zieleni miejskiej na przykładzie Plant w Krakowie Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji. Vol. 20: 421-431.
- Tompalski P., Kozioł K. 2008. Określanie wybranych parametrów drzew za pomocą naziemnego skaningu laserowego. Materiały III Krakowskiej Konferencji Młodych Uczonych, Kraków 25-27.09.2008. Sympozja i Konferencje KKMU nr 3: 337-346.
- Watt P. J., Donoghue D. N. M. 2005. Measuring Forest Structure with Terrestrial Laser Scanning. International Journal of Remote Sensing, Vol: 26 (7): 1437-1446.
- Wężyk P., 2008. Modelowanie chmury punktów ze skaningu laserowego w obszarze koron drzew. W: Geoinformacja obrazowa w świetle aktualnych potrzeb. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji. ISBN 978-83-61576-08-2. Vol.18 b: 685-695.
- Wężyk P., Kozioł K., Glista M., Pierzchalski M. 2007. Terrestrial Laser Scanning Versus Traditional Forest Inventory. First Results from the Polish Forests. W: Rönholm P., Hyypä H. i Hyypä J.: ISPRS Workshop on Laser Scanning 2007 and SilviLaser 2007. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. XXXVI, Part 3 / W52. Espoo, Finland. 12-14.09.2007. p. 424-429.
- Wężyk P., Sroga R. 2010. Naziemny skaning laserowy w inwentaryzacji miąższości drzewostanów sosnowych. Roczniki Geomatyki. ISSN 1731-5522. 8, 7(43): 63-73.
- Wężyk P., Sroga R., Szwed P. 2008. Precyzyjne pozycjonowanie pni drzew na kołowych powierzchniach próbnych przy użyciu urządzenia PosTex. Roczniki Geomatyki. ISSN 1731-5522, 6 (8):109-118.
- Wężyk P., Sroga R., Szwed P., Szostak M., Tompalski P., Kozioł K. 2009. Wykorzystanie technologii naziemnego skaningu laserowego w określaniu wybranych cech drzew i drzewostanów. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji. ISBN 978-83-61576-09-9. Vol. 19: 447-457.
- Wężyk P., Szostak M., Tompalski P. 2013. Use of Airborne Laser Scanning Data for a Revision and Update of a Digital Forest Map and its Descriptive Database: A Case Study from the Tatra National Park. The Carpathians: Integrating Nature and Society Towards Sustainability, Part IV, pp 615-627, Springer Berlin Heidelberg, ISBN 978-3-642-12725-0, DOI: 10.1007/978-3-642-12725-0\_43.
- 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. In: 8th international conference on LiDAR applications in forest assessment and inventory. SilviLaser 2008. Sept. 17-19. 2008 – Edinburgh, UK. p. 636-645.
- Wężyk P., Tompalski P. 2010. Określanie parametru zagęszczenia drzew w drzewostanach sosnowych na podstawie analizy chmury punktów naziemnego skaningu laserowego. Roczniki Geomatyki. ISSN 1731-5522. 8, 7(43): 83-90.

**Piotr Wężyk, Marta Szostak, Piotr Rysiak, Karolina Zięba,  
Paweł Hawryło, Michał Ratajczak**  
Laboratorium Geomatyki  
Zakład Urządzania Lasu, Geomatyki i Ekonomiki Leśnictwa,  
Instytut Zarządzania Zasobami Leśnymi,  
Wydział Leśny, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie  
wezyk.piotr@gmail.com