

## **OCENA PRZYDATNOŚCI DANYCH SKANOWANIA LASEROWEGO DO INWENTARYZACJI DRZEW ROSNĄCYCH POJEDYNCZO I W ZADRZEWIENIACH LINIOWYCH\***

Milena Nowak<sup>1</sup>, Krzysztof Będkowski<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Politechnika Warszawska

<sup>2</sup>Uniwersytet Łódzki

**Streszczenie.** Zadrzewienia są cennym elementem krajobrazu terenów rolnych. Ze względu na ich znaczenie krajobrazowe i ekologiczne, objęte są ochroną prawną. Utrzymywanie zadrzewień, jako jeden z wymogów dobrej kultury rolnej, jest również warunkiem do otrzymywania przez rolników dopłat do produkcji rolnej. W artykule omówiono możliwości wykorzystania dostępnych danych skanowania laserowego, pochodzących z projektu ISOK, do inwentaryzacji drzew. Porównano wyniki pomiarów wysokości drzew i szerokości ich koron na numerycznych modelach pokrycia terenu, opracowanych na podstawie danych ze skanowania laserowego z 2007 oraz 2015 r., z wynikami odpowiednich pomiarów terenowych. Stwierdzono, że ze względu na ograniczoną rozdzielczość modeli nie można dokładnie określić rozmiarów koron drzew. Analiza danych LiDAR pozwala jednakże ujawnić duże zmiany w stanie zadrzewień, co może być podstawą do przeprowadzenia inspekcji terenowej.

**Słowa kluczowe:** drzewa, inwentaryzacja, skanowanie laserowe

### **WSTĘP**

Zadrzewienia śródpolne odgrywają istotną rolę na terenie rolniczym – poprawiają warunki środowiskowe, podnoszą walory krajobrazowe terenu, zwiększają jego wartość użytkową. Funkcje zadrzewień można podzielić na produkcyjne, ochronne oraz społeczno-kul-

---

Adres do korespondencji – Corresponding author: Krzysztof Będkowski, Zakład Geoinformacji, Uniwersytet Łódzki, ul. Kopcińskiego 31, 90-142 Łódź, e-mail: [Krzysztof.bedkowski@geo.uni.lodz.pl](mailto:Krzysztof.bedkowski@geo.uni.lodz.pl)

\* Publikacja powstała w ramach badań przeprowadzonych przez Autorów w latach 2005–2007 w projekcie 2 P06L 02229 „Zastosowanie lotniczego i naziemnego skaningu laserowego w analizie struktury przestrzennej i funkcjonowania lasów w krajobrazie” (K. Będkowski) oraz badań do pracy inżynierskiej w r. 2015 (Milena Nowak) na Wydziale Leśnym SGGW w Warszawie.

© Copyright by Wydawnictwo Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie, Olsztyn 2016

turowe. Funkcje produkcyjne wiążą się z produkcją surowca drzewnego lub użytków nieдрzewnych. Wśród funkcji ochronnych można natomiast wyróżnić funkcje wodochronne, glebochronne oraz biocenotyczne, zaś w odniesieniu do człowieka sanitarno-higieniczne. Zadrzewienia podnoszą również walory estetyczne krajobrazu oraz rekreacyjno-zdrowotne, które należą do funkcji społeczno-kulturowych [Zajączkowski J. i Zajączkowski K. 2014].

Zadrzewienia są objęte ochroną prawną, której naruszenie skutkuje poważnymi konsekwencjami finansowymi. Kontrolę nad stanem zadrzewień śródpolnych ze względu na przepisy prawa sprawują jednostki samorządu terytorialnego (w odniesieniu do przepisów ustawy ochrony przyrody) oraz Agencja Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa, bowiem utrzymanie zadrzewień w odpowiednim stanie jest elementem warunkującym otrzymanie przez rolników wsparcia bezpośredniego. Podstawowym aktem prawnym określającym zasady ochrony prawnej zadrzewień śródpolnych jest Ustawa z 16 kwietnia 2004 r. o ochronie przyrody [Dz.U. 2004 nr 92 poz. 880]. Ustawę znowelizowano w 2015 r., zmieniono część przepisów odnoszących się do ochrony prawnej zadrzewień, m.in. art. 5 ust. 27 określający definicję zadrzewień. Według zapisów ustawy zadrzewienie to „pojedyncze drzewa, krzewy albo ich skupiska niebędące lasem (...) lub plantacją, wraz z terenem, na którym występują i pozostałymi składnikami szaty roślinnej tego terenu”. W zapisie tym doprecyzowano definicję zadrzewienia oraz odróżniono omawiane użytki od plantacji, które są zakładane w celach produkcyjnych. Zadrzewieniem jest również pojedyncze drzewo rosnące na terenie rolnym. W celu usunięcia drzewa lub krzewu osoba posiadająca prawo do nieruchomości, na której dany obiekt rośnie, zobowiązana jest w większości przypadków do uzyskania – w odpowiedzi na złożony wniosek – zezwolenia, wydanego przez odpowiedni organ [Ustawa z 16 kwietnia 2004 r... Dz.U. 2004 nr 92 poz. 880]. Problematyka usuwania drzew i krzewów istotna jest ze względu nie tylko na wartości przyrodnicze czy kulturowe, ale też w związku z karami, które ponoszą konkretne osoby za usunięcie drzewa lub krzewu bez uzyskania zezwolenia lub za ich uszkodzenie lub zniszczenie [Rozporządzenie Ministra Środowiska... Dz.U. z 2004 r. nr 228 poz. 2306 z późn. zm.].

Utrzymanie zadrzewień normowane jest także przez akty prawne Unii Europejskiej, w której określono zasady dotyczące warunków otrzymania dopłat bezpośrednich do produkcji rolniczej. Rozporządzenie Rady (WE) z 19 stycznia 2009 r... [Dz.U. L 30 z 31.1.2009, s. 16 „Dobra kultura rolna zgodna z ochroną środowiska”] oraz powiązany z nim załącznik III normują wytyczne, których zobowiązany jest przestrzegać rolnik w produkcji rolnej. Normą obowiązkową jest zachowanie cech krajobrazu, a więc m.in. utrzymanie zadrzewień liniowych, grupowych czy pojedynczych. O zasadach otrzymania płatności w polskim ustawodawstwie orzeka Ustawa z 26 stycznia 2007 r. o płatnościach w ramach systemów wsparcia bezpośredniego [Dz.U. z 2007 r., nr 35 poz. 217]. Potencjalny beneficjent powinien spełniać warunki określone w artykule 7 ust. 1 tej ustawy, wśród których znajduje się zapis o obowiązku spełniania norm przez cały rok kalendarzowy, w którym dany wniosek został złożony. Normy, których podstawą jest wymienione Rozporządzenie Rady (WE) nr 73/2009, zgodnie z artykułem 17 ust. 1 punkt 2b ustawy z 26 stycznia 2007... Dz.U. z 2007 r., nr 35 poz. 217, określone są w Rozporządzeniu Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z 11 marca 2010 r. w sprawie minimalnych norm [Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi... Dz.U. nr 39, poz. 211, z późn. zm.].

Rozporządzenie stanowi, że grunty rolne nie powinny być porośnięte drzewami i krzewami, z wyjątkiem drzew i krzewów, które zgodnie z przepisami ustawy o ochronie przyrody nie podlegają usunięciu lub znaczących dla ochrony gleb oraz wód, a także drzew i krzewów niewpływających na prowadzoną produkcję roślinną.

Narzędziem realizacji wspólnej polityki rolnej Unii Europejskiej jest Zintegrowany System Zarządzania i Kontroli, którego zadaniem jest obsługa złożonych wniosków o wsparcie bezpośrednio oraz kontrola beneficjentów [Maruniak i Wójcik 2005]. Agencja Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa praktykuje dwa rodzaje kontroli – inspekcję terenową oraz kontrolę teledetekcyjną (FOTO) uzupełnioną o pobieżną wizytę terenową (rapid field visit) [Fijałkowska i in. 2013]. Pierwsza metoda polega na weryfikacji informacji zawartych we wnioskach, poprzez dokonanie pomiaru powierzchni działki, w oparciu o technologię GPS, rozpoznanie rodzaju uprawy oraz sprawdzenie czy działka utrzymywana jest w dobrej kulturze rolnej [Zasady realizacji kontroli... 2015]. Metoda teledetekcyjna, tzw. metoda foto, polega na fotointerpretacji działek rolnych w obrębie gospodarstw ubiegających się o płatności bezpośrednio oraz weryfikacji spełnienia na ich obszarze norm dobrej kultury rolnej. Kontrola teledetekcyjna opiera się przede wszystkim na ortofotomapach. Prócz możliwości wektoryzacji granic danej działki, pomiaru jej powierzchni, materiał ten umożliwi identyfikację rodzaju uprawy oraz kontrolę realizowania wymogów dobrej kultury rolnej. Wykorzystanie ortofotomap ograniczone jest jednakże właściwościami geometrycznymi zdjęć lotniczych i samych ortofotomap oraz warunkami przyrodniczymi [Będkowski 2015].

Dane otrzymywane ze skaningu laserowego po odpowiednim przetworzeniu dostarczają wiele informacji o stanie zadrzewień bez konieczności przeprowadzenia inspekcji terenowej. Zaletą lotniczego skanowania laserowego jest rejestracja dużej liczby punktów o znanych współrzędnych (X, Y, Z), dzięki czemu możliwe jest odtworzenie quasi-ciągłej powierzchni terenu. Uzyskane wyniki zależne są od okresu wykonania pomiarów oraz gęstości pokrywy roślinnej. W celu uzyskania numerycznego modelu terenu (NMT) skanowanie, szczególnie obszaru zalesionego, wykonywane jest w sezonie bezlistnym dla drzew liściastych – późną jesienią lub wczesną wiosną, zaś w celu pozyskania modelu pokrycia terenu (NMPT) – w sezonie letnim [Będkowski i Stereńczak 2011]. Istotną korzystną cechą opracowań powstających na bazie danych LiDAR są ich własności geometryczne. Są odwzorowane w rzucie ortogonalnym, wobec czego zarejestrowane obiekty nie ulegają zniekształceniom, jak na zdjęciach lotniczych, np. nie występuje przesunięcie radialne wierzchołków względem podstaw drzew. Nie występuje również efekt pozostawiania części drzew w cieniu rzucanym przez wyższe egzemplarze, co jest dość często spotykane na zdjęciach lotniczych. Produkty skanowania laserowego mogą być zatem lepszym, w porównaniu do zdjęć lotniczych, materiałem pomiarowym.

## CEL BADAŃ

Od kilku lat dostępne są dane skanowania laserowego obejmujące powierzchnię niemal całego kraju. Powstały w ramach projektu Informatycznego Systemu Osłony Kraju przed nadzwyczajnymi zagrożeniami (ISOK), którego celem jest „zwiększenie bezpieczeństwa

obywateli oraz ograniczenie strat spowodowanych występowaniem zagrożeń naturalnych, technologicznych i synergicznych, w tym szczególnie powodzi” [Podręcznik dla uczestników... 2014]. Na potrzeby projektu pozyskano dane w technologii lotniczego skanowania laserowego dotyczące terenu oraz jego pokrycia, na podstawie których opracowano numeryczny model terenu (NMT) oraz numeryczny model pokrycia terenu (NMPT). Produkty te przygotowano według ustalonych dla całego kraju jednolitych standardów.

Celem pracy jest ocena możliwości wykorzystania danych skanowania laserowego, w postaci NMPT i NMT o rozdzielczości przestrzennej 1 m, opracowanych w ramach projektu ISOK, do inwentaryzacji drzew rosnących pojedynczo i w zadrzewieniach liniowych, na potrzeby kontroli ich stanu.

## MATERIAŁ I METODY

Obszar badań położony jest w woj. łódzkim, obejmuje południową część gminy Głuchów w powiecie skierniewickim oraz południowo-zachodnią część gminy Rawa Mazowiecka w powiecie rawskim. Typowymi elementami krajobrazu tego obszaru są drzewa rosnące pojedynczo na miedzach wąskich pól, ewentualnie w niedużych zadrzewieniach. Wzdłuż lokalnych dróg występują szpalery drzew, tzw. zadrzewienia liniowe.

W badaniach wykorzystano dane skanowania laserowego oraz pomiary terenowe wykonane w dwóch terminach, w roku 2007 oraz 2013. Skanowanie laserowe w 2007 r. wykonano w ramach projektu badawczego 2 P06L 02229 realizowanego na Wydziale Leśnym SGGW w Warszawie [Będkowski i in. 2008]. Projekt dotyczył zagadnień związanych z leśnictwem, jednakże w jego wyniku zarejestrowano także fragment terenów użytkowanych rolniczo. Skanowanie wykonano dwukrotnie – w pierwszych dniach maja, kiedy liście drzew rosnących w lasach były jeszcze słabo rozwinięte, oraz w lipcu. Z pozyskanych i przetworzonych danych „wiosennych” wygenerowano numeryczny model terenu, natomiast drugie skanowanie dostarczyło danych do numerycznego modelu pokrycia terenu. Rozdzielczość przestrzenna wykonanych modeli terenu wynosi 1 m. Każdy piksel modelu ma współrzędne XYZ odnoszące się do środka piksela. Właściwość ta umożliwia utworzenie znormalizowanego numerycznego modelu pokrycia terenu – nNMPT (rys. 1), będącego różnicą numerycznego modelu pokrycia terenu oraz numerycznego modelu terenu. Piksele nNMPT zawierają więc informację o wysokości obiektów znajdujących się w terenie – budynków, budowli, drzew.

Do celów porównawczych i kontrolnych wykorzystano dane skanowania laserowego wykonanego w 2013 r. w ramach projektu ISOK. Dane te uzyskano z Centralnego Ośrodka Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej w Warszawie – licencja nr DIO.DFT.DDZ.DSI.DOP.ASG.7211.8788.2015\_PL\_N udzielona Leśnemu Zakładowi Doświadczalnemu SGGW w Rogowie.

Dane referencyjne dotyczące drzew zbierano w 2007 i 2015 r. W maju 2007 r. za pomocą wysokościomierza SUUNTO PM-5/1520P zmierzono wysokość ( $h_{\text{TER}2007}$ ) 97 drzew rosnących na gruntach rolnych pojedynczo lub w zadrzewieniach liniowych. Określono także gatunek drzew oraz sporządzono dokumentację fotograficzną. W maju



Rys. 1. Fragment numerycznego modelu pokrycia terenu z pojedynczymi drzewami na polach. Wysokość obiektów jest zakodowana w stopniach szarości – obiekty wysokie są jasne  
Fig. 1. Part of DSM with single trees. Height of objects is expressed with gray scale

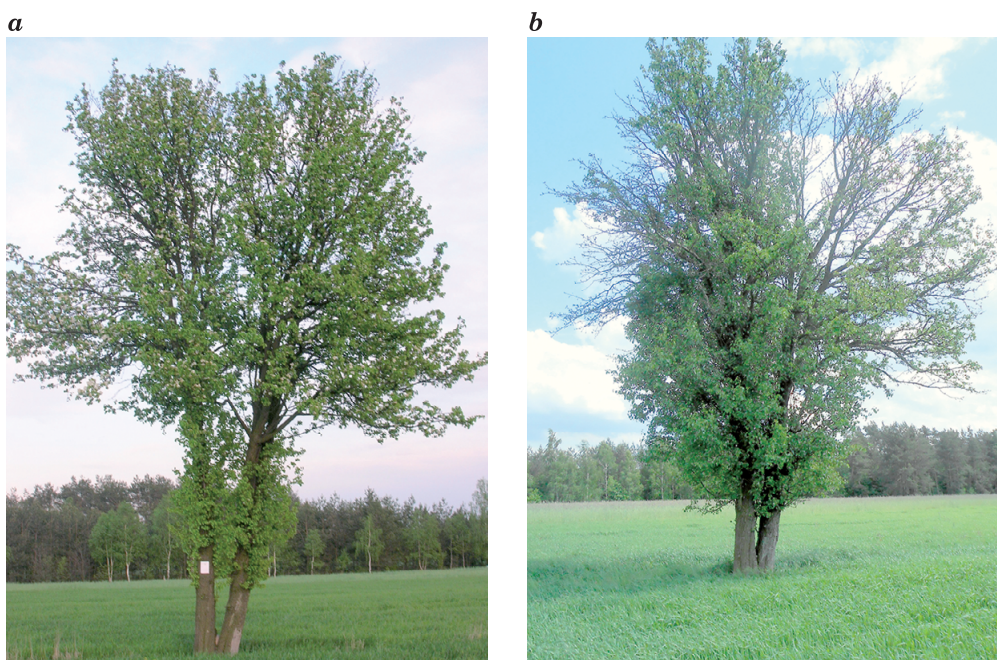
Źródło: opracowanie własne

Source: own study

i listopadzie 2015 r. zinwentaryzowano w terenie 115 drzew, wśród których 64 było zmierzonych także w 2007 roku. Pomierzone drzewa znajdują się na obszarze ok. 6,5 km<sup>2</sup>. Inwentaryzacja obejmowała pomiar wysokości ( $h_{\text{TER}2015}$ ) oraz szerokości koron drzew ( $d_{\text{TER}2015}$ ) dalmierzem laserowym MDL LaserAce 300 [Stankiewicz i Będkowski 2012]. Pomiar szerokości koron 102 drzew wykonano w orientacji północ – południe, zaś pozostałych na kierunku wschód – zachód. Ustalono (lub zweryfikowano) przynależność gatunkową lub rodzajową inwentaryzowanych drzew oraz sporządzono dokumentację fotograficzną. Dokumentacja fotograficzna, sporządzona w odstępnie 8 lat, umożliwia wizualną ocenę zmiany stanu drzew (rys. 2).

Znormalizowane numeryczne modele pokrycia terenu dla 2007 i 2013 r. posłużyły jako materiał źródłowy do określenia wysokości ( $h_{\text{LIDAR}2007}$ ,  $h_{\text{LIDAR}2013}$ ) oraz szerokości koron ( $d_{\text{LIDAR}2007}$ ,  $d_{\text{LIDAR}2013}$ ) drzew. Pomiar wysokości drzew polegał na odczytaniu wartości odpowiedniego atrybutu najjaśniejszego piksela znajdującego się w obrębie korony zlokalizowanej na modelu nNMPT. Ustalenie szerokości korony wymagało dokonania najpierw klasyfikacji pikseli nNMPT na należące do koron oraz pozostałe. Do koron zaliczono te piksele, których atrybut wysokości (pixel value) miał wartość powyżej 1,5 m. Piksele posiadające wartość mniejszą uznano za znajdujące się na poziomie terenu. Teoretycznie piksele leżące na poziomie terenu powinny mieć wartość atrybutu





Rys. 2. Grusza: *a* – w 2007 r. (fot. K. Będkowski); *b* – w 2015 r. (fot. M. Nowak)  
 Fig. 2. Pear tree: *a* – in 2007 (photo by K. Będkowski); *b* – in 2015 (photo by M. Nowak)

wysokości równą zero, jednakże ze względu na dokładność modelu nNMPT warunek taki byłby nie do spełnienia. Próg 1,5 m zapewnia także uwzględnienie wysokości zbóż, które rosły w momencie wykonania skanowania letniego w 2007 r. Szerokość koron drzew zmierzono manualnie za pomocą narzędzia linijka (measure) na tych samych kierunkach, na których były mierzone w terenie. Wszystkie pomiary na nNMPT wykonano w środowisku ArcMap. Ze względu na to, że rozdzielczość rastra wynosi 1 m (każdy piksel reprezentuje powierzchnię rzeczywistą 1 m<sup>2</sup>), szerokości koron zapisano z zaokrągleniem do 1 m.

Problematyczny był pomiar drzew łączących się koronami, w przypadku gdy rosły podwójnie lub w szpalerach. Podczas wizji terenowej zmierzono 2 szpalery oraz kilka drzew, rosnących w grupie (zawierających łącznie 18 drzew z połączonymi koronami). Pomiar szerokości koron drzew rosnących w zadrzewieniach liniowych wykonano na nNMPT w kierunku prostopadłym do linii zadrzewienia, natomiast wysokość drzew ustalono jak w przypadku innych drzew, tj. poprzez odczytanie wartości atrybutu wysokości najjaśniejszych pikseli.

W celu porównania wyników pomiarów wysokości drzew i szerokości ich koron uzyskiwanych za pomocą zastosowanych metod oraz określenia wielkości przyrostu drzew w latach 2007–2013 lub 2007–2015 obliczono dla każdego drzewa różnice między poszczególnymi wielkościami, a na ich podstawie średnią różnic, minimalną i maksymalną różnicę dwóch wyników oraz średnią z bezwzględnych wartości różnic (tab. 1). Ta ostatnia wielkość wyraża, o ile przeciętnie różniły się wyniki pomiarów wykonanych w różnych terminach lub różnymi metodami.

Tabela 1. Porównanie wyników pomiarów wysokości ( $h$ ) oraz szerokości koron drzew ( $d$ ) wykonanych za pomocą różnych metod (LIDAR lub bezpośrednio terenie) i w różnych terminach (2007, 2013, 2015) [m]  
 Table 1. Comparison of trees heights ( $h$ ) and crown diameters ( $d$ ) achieved with diverse methods (LIDAR or by field measurement) and in different years (2007, 2013, 2015) [m]

Opis Description	Porównywane wielkości Variables being compared	Symbole wykonanego działania symbols of operation	Średnia wartość różnic Mean value of differences between two variables	Najmniejsza różnica dwóch wyników Smallest difference between two variables	Największa różnica dwóch wyników Highest difference between two variables	Średnia bezwzględnych wartości różnic Mean of absolute values of differences
Wysokość drzew pomierzona w terenie Trees height measured in field	$h_{\text{TER2015}} - h_{\text{TER2007}}$		+1,09	-2,50	+9,40	1,61
Wysokość drzew pomierzona na nNIMPT Trees height measured on nDSM	$h_{\text{LIDAR2013}} - h_{\text{LIDAR2007}}$		+0,43	-1,83	+4,02	0,77
Szerokość koron pomierzona na nNIMPT Crowns width measured on nDSM	$d_{\text{LIDAR2013}} - d_{\text{LIDAR2007}}$		+0,08	-3,00	+2,00	0,83
Wysokość drzew pomierzona na nNIMPT i w terenie Trees height measured on nDSM and in field	$h_{\text{LIDAR2007}} - h_{\text{TER2007}}$ $h_{\text{LIDAR2013}} - h_{\text{TER2015}}$		-0,65 -1,25	-6,55 -7,61	+1,71 +2,78	0,87 1,62
Szerokość koron drzew pomierzona na nNIMPT i w terenie Crowns width measured on nDSM and in field	$d_{\text{LIDAR2013}} - d_{\text{TER2015}}$		-0,26	-2,1	+3,00	0,64

## WYNIKI I WNIOSKI

Żaden pomiar nie jest całkowicie dokładny. Nawet wdrożenie doskonałych technik pomiarowych oraz zastosowanie precyzyjnego sprzętu nie gwarantuje osiągnięcia rzeczywistej wartości tej wielkości, która jest mierzona. Przyczynami powstawania błędów są zarówno wady ludzkich zmysłów, jak i niedoskonałości narzędzi pomiarowych (np. niedokładności konstrukcyjne, wady materiału, z którego sprzęt jest wykonany). Możliwy jest ponadto wpływ stanu środowiska zewnętrznego, ponieważ ciągle się ono przekształca (np. zmiana warunków atmosferycznych, oświetlenia, nasłonecznienia). W prezentowanych badaniach nie ustalano jednakże wielkości błędów w przytoczonym rozumieniu, lecz jedynie określono wielkość różnic wyników pomiarów wysokości i szerokości koron tych samych drzew, uzyskanych za pomocą różnych metod: na podstawie znormalizowanego modelu pokrycia terenu nNMPT oraz bezpośrednich pomiarów w terenie. Dodatkowo scharakteryzowano zmiany tych wielkości w latach od 2007 do 2013 lub 2015 r.

Uzyskane dla części drzew wyniki z różnych metod lub terminów znacznie się różnią (tab. 1). Zwracają uwagę bardzo wysokie (skrajne) wartości różnic minimalnych i maksymalnych, a także średnich z bezwzględnych wartości różnic. Przyczynami mogą być niedokładności metod pomiaru lub efekt wzrostu drzew. Na podstawie pomiarów terenowych stwierdzono, że drzewa w okresie 2007–2015 zmieniły wysokość (przyrosły) przeciętnie o +1,09 m. Ta sama wielkość ustalona za pomocą odczytów na nNMPT wynosi tylko +0,43 m. Szerokość drzew ustalona poprzez pomiar na nNMPT zmieniła się w tym okresie średnio tylko o +0,08 m. Z porównania wyników pomiaru wysokości drzew i szerokości ich koron, uzyskanych za pomocą metody LIDAR oraz bezpośrednio w terenie, wynika, że wielkości uzyskiwane poprzez pomiar na nNMPT są zwykle niższe. Jest to wynik zgodny z rezultatami wielu innych autorów i tłumaczony jest brakiem możliwości zarejestrowania odbić impulsów skanera od drobnych gałązek szczytowych partii drzewa. Znaczna część impulsu odbija się dopiero od części drzewa poniżej jego wierzchołka i współrzędne tego miejsca są uwzględniane przy interpolowaniu modelu pokrycia terenu. Również tutaj zwraca jednak uwagę fakt, że minimalne i maksymalne wartości różnic oraz średnie z wartości bezwzględnych różnic są stosunkowo duże. Omówienia wymaga także znak różnic: w przypadku terenowego pomiaru wysokości drzew w zasadzie nie powinno być przypadków uzyskania ujemnego przyrostu, gdyż nie znaleziono drzew, które uległy znaczącym uszkodzeniom, prowadzącym do obniżenia ich wysokości aż o 2,5 m (lub 1,83 m wg danych LIDAR). Jest to raczej wynik błędu pomiarowego popełnionego w trakcie pomiaru w terenie, natomiast różnica danych LIDAR może wynikać z algorytmów zastosowanych do opracowania modeli NMT oraz nNMPT. Jak wykazano w innych badaniach [Będkowski i Stereńczak 2010], algorytm interpolacyjny zastosowany do generowania modeli może powodować zbytne wygładzenie aproksymowanej powierzchni – ścięcie lokalnych wzniesień lub wypełnienie zagłębień. Mógł także wystąpić błąd systematyczny polegający na wyniesieniu lub obniżeniu któregoś z modeli o pewną wartość. W trakcie pomiaru szerokości koron drzew na nNMPT znaczenie miał także fakt, że do koron zaliczane były całe piksele modeli, które wykonano w rozdzielczości 1 m.



W efekcie wyniki można było zapisać jedynie w zaokrągleniu do pełnych metrów. Rozdzielczość tego rzędu wpływa negatywnie na dokładność pomiarów, bowiem np. korona drzewa o szerokości rzeczywistej  $d_{\text{TER}} = 7,6$  m zobrażona jest na rastrze jako obiekt o rozpiętości 8 m. W efekcie, porównując wyniki lat 2007 i 2015, można nie zanotować przyrostu szerokości koron. Niektóre wyniki wręcz wskazują, iż z upływem lat szerokość korony drzewa się zmniejszyła (minimalna wartość różnicy  $d_{\text{LIDAR2013}} - d_{\text{LIDAR2007}} = -3,00$  m). Ten efekt może także wynikać z różnic położenia siatek modeli na analizowanym terenie.

Negatywny wpływ na dokładność pomiaru ma również wzrastanie drzew w szpalerach i łączenie się ich koron, co utrudniało jednoznaczne określenie zasięgu danego drzewa. W przypadku pomiaru szerokości korony niedokładności mogą też wynikać z zastosowanej progowej wysokości. Przyjęta wartość 1,5 m, w większości przypadków jest wystarczająca do odrzucenia pikseli niereprezentujących drzewa, lecz nie sprawdza się w przypadku drzew rosnących w towarzystwie innych, których wysokość nieznacznie przekracza 1,5 m. Jak sprawdzono, takie grupy drzew mylnie odczytywano w nNMPT jako pojedyncze drzewa o szerokich koronach. Niewielki wpływ na zwiększenie różnic wyników pomiarów wysokości drzew i szerokości ich koron miał na pewno fakt, iż skanowanie laserowe wykonano w 2013 r., a pomiary terenowe w 2015 r.

Dane pozyskane podczas pomiarów umożliwiają zarejestrowanie zmiany liczby drzew na badanym obszarze w okresie 8 lat. Z ich porównania wynika, iż spośród pomierzonych w 2007 r. drzew, w późniejszych terminach nie odnaleziono dziesięciu egzemplarzy. W terenie zaobserwowano uschnięcie jednego drzewa oraz zniszczenie innego. Na analizowanym obszarze pojawiło się 14 nowych drzew, które na pewno wzrosły w okresie ostatnich 8 lat, ponieważ nie były zarejestrowane na nNMPT z 2007 r.

Wykonane w pracy pomiary oraz proces przetworzenia danych ze skanowania laserowego w celu uzyskania konkretnych parametrów drzew niewątpliwie mogą mieć zastosowanie praktyczne. Do wstępnej weryfikacji, czy dane drzewo nie zostało uszkodzone lub zniszczone, można wykorzystać przetworzony w procesie automatyzacji znormalizowany numeryczny model pokrycia terenu. Konfrontując wynik z danymi porównawczymi, obserwator może wstępnie stwierdzić czy w terenie zaszły niepokojące zmiany, co może być podstawą do przeprowadzenia inspekcji terenowej.

Bardziej problematyczne, w świetle uzyskanych wyników, jest zastosowanie metody LIDAR do dokładnego określania wysokości drzew i szerokości ich koron. Źródłem dużych niezgodności z danymi faktycznymi jest przede wszystkim rozdzielczość modeli NMPT oraz NMT. Korzystanie z obecnie powszechnie dostępnych modeli o rozdzielczości 1 m może być zatem nieuzasadnione. W celu uzyskania lepszych wyników należałoby pracować na modelach o rozdzielczości zwiększonej do 0,5 lub nawet 0,25 m, co jednakże oznacza konieczność samodzielnego interpolowania tych modeli z oryginalnych danych skanowania laserowego.

## PIŚMIENNICTWO

- Będkowski, K. (2015). Jak policzyć i pomierzyć drzewa w lesie za pomocą zdjęć lotniczych? *Studia i Materiały Centrum Edukacji Przyrodniczo-Leśnej* r. 17, z. 43(2), 31–48.
- Będkowski, K., Adamczyk, J., Brach, M., Gzowski, P., Karaszkievicz, W., Krawczyk, A., Marmol, U., Mikrut, S., Miścicki, S., Morańda, M., Olenderek, H., Stereńczak, K., Stępniewski, P., Walo, J., Zawadka, R. 2008. Raport końcowy projektu badawczego 2 P06L 02229. Zastosowanie lotniczego i naziemnego skaningu laserowego w analizie struktury przestrzennej i funkcjonowania lasów w krajobrazie. Katedra Urządzania Lasu, Geomatyki i Ekonomiki Leśnictwa, SGGW w Warszawie.
- Będkowski, K., Stereńczak, K. (2010). Porównanie numerycznych modeli terenu obszarów leśnych generowanych z wykorzystaniem danych skaningu laserowego (LIDAR) uzyskanych w okresie wiosennym i letnim. *Roczniki Geomatyki* t. VIII, z. 7(43), 11–20.
- Będkowski, K., Stereńczak, K. (2011). Wysokość drzewostanu i zagęszczenie, w: *Las w rastrowym modelu danych przestrzennych*. Red. K., Będkowski, Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Fijałkowska, A., Osińska-Skotak, K., Pluto-Kossakowska, J. (2013). Możliwości teledetekcyjnej kontroli utrzymania gruntów rolnych w dobrej kulturze rolnej. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji* 25, 141–154.
- Maruniak, A., Wójcik, B. (2005). Ocena przydatności zdjęć lotniczych i zobrazowań satelitarnych wykonywanych dla potrzeb IACS-U w celu modernizacji ewidencji gruntów i budynków. Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska. Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica, Kraków (praca magisterska).
- Podręcznik dla uczestników szkoleń z wykorzystania produktów LiDAR. (2014). Red. P., Wężyk, Główny Urząd Geodezji i Kartografii, Warszawa.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 13 października 2004 r. w sprawie opłat dla poszczególnych rodzajów i gatunków drzew. Dz.U. z 2004 r. nr 228 poz. 2306 z późn. zm.
- Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z 11 marca 2010 r. w sprawie minimalnych norm. Dz.U. nr 39, poz. 211, z późn. zm.
- Rozporządzenie Rady (WE) nr 73/2009 z 19 stycznia 2009 r. ustanawiające wspólne zasady dla systemów wsparcia bezpośredniego dla rolników w ramach wspólnej polityki rolnej i ustanawiające określone systemy wsparcia dla rolników, zmieniające rozporządzenia (WE) nr 1290/2005, (WE) nr 247/2006, (WE) nr 378/2007 oraz uchylające rozporządzenie (WE) nr 1782/2003. Dz.U. L 30 z 31.1.2009, s. 16.
- Stankiewicz, B., Będkowski, K. (2012). Dalmierz laserowy w zastosowaniu do pomiaru drzew – ocena dokładności. *Roczniki Geomatyki* t. X, z. 5(55), 61–66.
- Ustawa z 16 kwietnia 2004 r. o ochronie przyrody. Dz.U. z 2004 r. nr 92 poz. 880.
- Ustawa z 26 stycznia 2007 r. o płatnościach w ramach systemów wsparcia bezpośredniego. Dz.U. z 2007 r., nr 35 poz. 217.
- Zajączkowski, J., Zajączkowski, K. (2014). *Hodowla lasu. Zadrzewienia*, PWRiL, Warszawa.
- Zasady realizacji kontroli. Stan realizacji kontroli na miejscu – płatności w ramach systemów wsparcia bezpośredniego, <http://www.arimr.gov.pl/kontrolle-beneficjentow/kontrolle-platnosci-bezposrednie/zasady-realizacji-kontroli.html>, dostęp: 6.10.2015 r.

## USE OF A LASER SCANNING DATA TO INVENTORY OF SINGLE TREES AND TREES GROVING IN TREE-LINES

**Summary.** Because of many functions, of trees in agricultural land, they are protected. Preservation of woodlots – one of requirements of «Good Agricultural Practises» – is also condition for receiving subsidies to farmers for agricultural production. To take care

of them, it is necessary to monitor woodlots condition. This paper deals with the use of laser scanning data to trees inventory. Data acquired by LiDAR are good material for the measurement of trees, because they do not have distortions, which are typical by aerial images. The paper contains the results of measurements of trees with normalized Digital Surface Models obtained from laser scanning data acquired 2007 and 2015. Achieved results are compared with field measurement.

The results, even though are not accurate enough to measure trees crowns dimensions, may indicate changes in the field and be applied as a practical basis to carry out the Rapid Field Visit.

**Key words:** trees, inventory, laser scanning

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 2.03.2016

Do cytowania – For citation:

Nowak, M., Będkowski, K. (2016). Ocena przydatności danych skanowania laserowego do inwentaryzacji drzew rosnących pojedynczo i w zadrzewieniach liniowych. *Acta Sci. Pol. Administratio Locorum* 15(1), 59–69.