

Wykorzystanie chmur punktów z lotniczego skanowania laserowego do weryfikacji stanu aktualności wybranych obiektów w bazie geometrycznej leśnej mapy numerycznej

Using point clouds from laser scanning for revising
particular objects in the forest digital map database

Mariusz Ciesielski¹, Radomir Bałazy¹, Krzysztof Mitelsztedt¹,
Tomasz Zawila-Niedźwiecki²

¹ Instytut Badawczy Leśnictwa, Sękocin Stary

² Generalna Dyrekcja Lasów Państwowych, Warszawa

Słowa kluczowe: lotnicze skanowanie laserowe, leśna mapa numeryczna, detekcja budynków, geomatyka

Keywords: airborne laser scanning, forestry, forest digital map, buildings detection, geomatics

Wstęp

Rozwój technologii lotniczego skanowania laserowego (*Airborne Laser Scanning*, ALS) spowodował, że wykorzystywana jest ona w wielu dziedzinach gospodarki, zarówno w sektorze prywatnym jak i publicznym. Dzięki Informatycznemu Systemowi Ochrony Kraju (ISOK) aż 92% powierzchni Polski pokrywają tego typu dane (Wężyk, 2014). Stosunkowo łatwy do nich dostęp (bezpłatny dla podmiotów publicznych) sprawia, że dane ALS mogą być wykorzystywane między innymi do pozyskiwania szczegółowej informacji o drzewostanach i pojedynczych drzewach oraz do szacowania biomasy. Prace z tego zakresu prowadzone są od kilkunastu lat przez polskich i zagranicznych naukowców (Hyypä i in., 2012; Będkowski, 2006; Miścicki, Stereńczak, 2013).

Teledetekcja, w tym lotnicze skanowanie laserowe, są wykorzystywane także do pozyskiwania informacji, mogących być podstawą do aktualizacji zbioru danych wchodzących w skład leśnej mapy numerycznej (LMN; Wężyk i in., 2010). Obecnie brak jest przepisów, które wprowadzałyby obowiązek wykorzystania tych danych w pracach z zakresu urządzania lasu. Obowiązujące od kwietnia 2005 roku Zarządzenie Nr 34 Dyrektora Generalnego Lasów Państwowych w sprawie zmiany zarządzenia nr 74 Dyrektora Generalnego Lasów Państwowych z dnia 23 sierpnia 2001 r. w sprawie zdefiniowania standardu leśnej mapy numerycznej dla poziomu nadleśnictwa oraz wdrażania systemu informacji przestrzennej w

nadleśnictwach – określa między innymi jakie typy obiektów powinny znaleźć się w LMN. W warstwach fakultatywnych o określonej strukturze, których powstanie zależy od decyzji nadleśnictwa, znajdują się elementy inżynierii leśnej, między innymi punktowe obiekty łowieckie (*low_pkt*) oraz warstwa poligonowa budynków (*bud_pol*) (Zarządzenie, 2005). Ich inwentaryzacja za pomocą automatycznych algorytmów przetwarzających chmury punktów z lotniczego skanowania laserowego może ułatwić uzupełnienie LMN o nowe informacje, bądź może pomóc zweryfikować poprawność geometryczną lub opisową już istniejących danych.

Do tej pory problematyka automatycznej detekcji budynków skupiała się na terenach zurbanizowanych, do czego wykorzystywano analogowe i cyfrowe zdjęcia lotnicze oraz zobrazowania satelitarne. Dokładność ich wykrywania wyniosła ok. 73-83% (Champion, 2007; Person i in., 2005; Müller, Zaum, 2005). Inne prace skupiały się na analizie numerycznych modeli terenu (Olsen, Knudsen, 2005) oraz analizie numerycznych modeli terenu łącznie z danymi ze zdjęć lotniczych (Champion, 2007, Stereńczak i in., 2012). W tych pracach dokładność detekcji budynków wyniosła 80-95%.

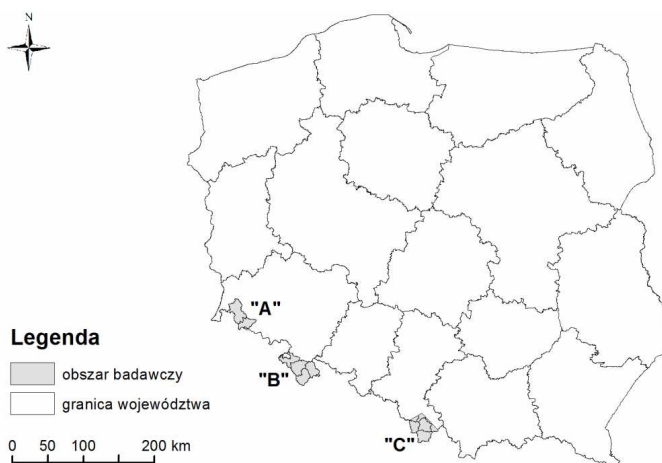
Ostatnią grupę stanowią analizy dotyczące bezpośrednio chmury punktów uzyskanej z lotniczego skanowania laserowego (Dash i in., 2004; Bucior i in., 2006; Kulesza, 2007). Z technologią tą wiąże się duże nadzieje, gdyż budynki zlokalizowane pod okapem drzewostanu są praktycznie niemożliwe do wykrycia na analogowych i cyfrowych zdjęciach lotniczych. Natomiast impuls lasera może przeniknąć do niższych partii drzewostanu dzięki czemu istnieje możliwość uzyskania informacji o obiektach znajdujących się pod okapem drzewostanu.

Celem pracy było określenie możliwości wykrywania budynków na terenach leśnych oraz w ich bezpośrednim sąsiedztwie na podstawie chmur punktów z lotniczego skanowania laserowego. Ponadto oceniono użyteczność tych danych do aktualizacji wybranych elementów LMN.

Obszar badań

Obszar poddany analizie stanowiły obszary leśne wraz ze 100-metrowym buforem wokół nich (rys. 1), obejmujące dwanaście nadleśnictw górskich, zgrupowanych w trzy obszary badawcze, położone w Sudetach i Beskidach:

- Nadleśnictwa: Szklarska Poręba i Świeradów (Sudety Zachodnie – obszar A);
- Nadleśnictwa: Bystrzyca Kłodzka, Łądek Zdrój, Międzylesie i Zdroje (Sudety Wschodnie – obszar B);
- Nadleśnictwa: Bielsko, Jeleśnia, Wisła, Ustroń, Ujsoły i Węgierska Górka (Beskid Żywiecki – obszar C).



Rysunek 1. Lokalizacja obiektu badawczego

Metodyka

Wykorzystane dane oraz opis ich przetworzenia

Wykorzystane w pracy materiały zostały pozyskane w ramach projektu wdrożeniowo-badawczego pt. „Utworzenie dla obszaru Sudetów i Beskidu Zachodniego leśnego systemu informacyjnego w zakresie monitoringu i oceny stanu lasu”, realizowanego przez Instytut Badawczy Leśnictwa z siedzibą w Sękocinie Starym, na zlecenie Dyrekcji Generalnej Lasów Państwowych.

Dane z lotniczego skanowania laserowego zostały pozyskane w okresie pełnej fenologii aparatu asymilacyjnego (lipiec–sierpień 2012 r.). Podczas nalotu fotogrametrycznego wykorzystano skaner Airborne Laser Scanner LMS-Q680i (RIEGL). Średnia gęstość otrzymanej chmury punktów ALS wynosiła 6 pkt/m².

Dane ALS zostały następnie przetworzone z wykorzystaniem modułu pakietu TerraScan (Terrasolid) tak, aby były zgodne ze standardem LAS 1.2 opracowanym przez American Society for Photogrammetry & Remote Sensing (ASPRS, 2009). Z punktu widzenia przedstawionych badań najważniejsza była klasyfikacja chmury punktów do klas zdefiniowanych w wymienionym standardzie, którymi są: 0 – punkty utworzone, nigdy niesklasyfikowane, 1 – przetworzone, niesklasyfikowane, 2 – grunt, 3 – niska roślinność (0–0,4 m), 4 – średnia roślinność (0,4–2,0 m), 5 – wysoka roślinność (powyżej 2,0 m), 6 – budynki, budowle i obiekty inżynierskie, 7 – szum, punkty niskie lub wysokie.

Proces klasyfikacji jest procesem etapowym, który przebiega następująco: klasyfikacja punktów niskich, klasyfikacja punktów izolowanych, klasyfikacja punktów należących do gruntu, klasyfikacja punktów według wysokości względnej do trzech klas roślinności, klasyfikacja punktów za pomocą automatycznych algorytmów służących między innymi do detekcji budynków. Algorytmy oprogramowania TerraScan (Terrasolid) pozwalają na wykonanie wszystkich wspomnianych etapów klasyfikacji.

Do wyodrębnienia „punktów niskich” służy algorytm *Low points*, bazujący na analizie sąsiedztwa pomiędzy punktami. Narzędzie to zapewnia odrzucenie błędnych punktów, które mogłyby mieć wpływ na dokładność numerycznego modelu terenu (NMT). Klasyfikacja „punktów izolowanych” odbywa się przy użyciu narzędzia *Isolated points*, które wyszukuje pojedyncze punkty powyżej lub poniżej gruntu. Główny etap klasyfikacji chmury punktów stanowi selekcja punktów, które należą do klasy gruntu (narzędzie *Ground*). Kolejny etap to klasyfikacja obiektów znajdujących się ponad gruntem, czyli klasyfikacja elementów stanowiących pokrycie terenu (algorytm *By height from ground*). Na tym etapie wykorzystywany jest algorytm bazujący na wysokości względnej ponad gruntem. Punkty wcześniej zdefiniowane jako grunt, służą do wygenerowania tymczasowego modelu NMT w postaci nieregularnej siatki trójkątów (*Triangulated Irregular Network*, TIN). Następnie algorytm na podstawie zdefiniowanych przez użytkownika przedziałów wysokości klasyfikuje punkty do danej klasy. W wyniku zdefiniowania klas wysokości otrzymujemy różne klasy roślinności, z których klasa roślinności wysokiej zawiera również informacje o koronach drzew, budynkach i innych obiektach, przykładowo częściowo również o paśnikach.

W przedstawionych badaniach istotny był etap odpowiadający za automatyczną klasyfikację budynków i budowli (Kwoczyńska, 2013; Hejmanowska i in., 2008; Bucior i in., 2006; Weinacker i in., 2004). Do jego przeprowadzenia niezbędne są dwie grupy punktów wyodrębnionych w poprzednich etapach – grunt oraz punkty powyżej określonej wysokości nad

terenem. Procedura automatycznej detekcji budynków w oprogramowaniu TerraScan (Terrasolid) wymaga zdefiniowania wartości sześciu parametrów (Kulesza, 2007):

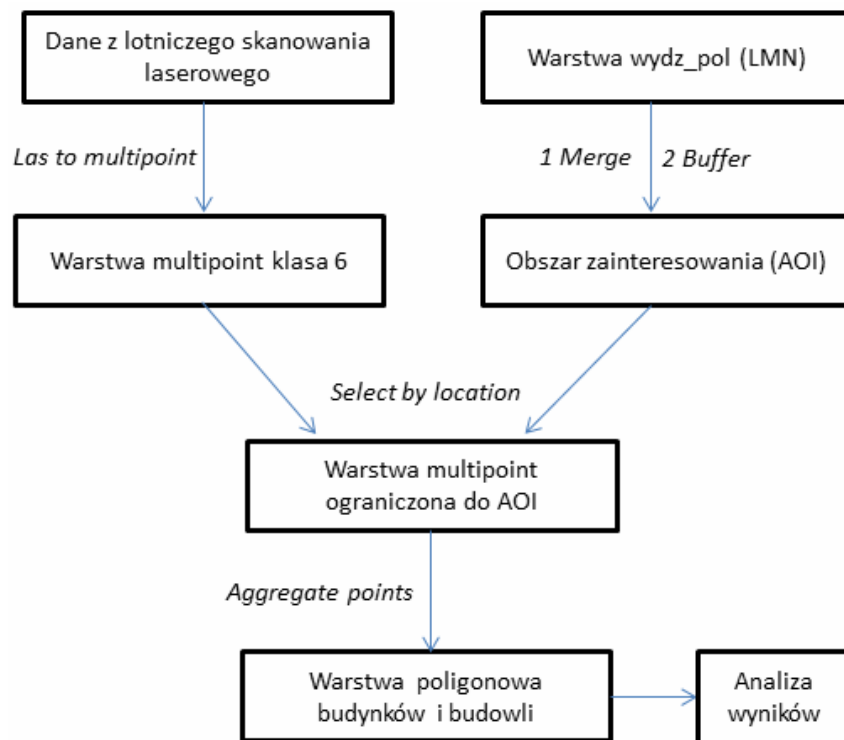
- minimalnego i maksymalnego rozmiaru budynku – te dwa parametry definiują minimalny i maksymalny rozmiar rzutu dachu budynku na płaszczyznę poziomą w celu jego wykrycia,
- minimalnego rozmiaru detalu – parametr niezbędny do wykrywania detali na płaszczyznach dachów, np. lukarn,
- maksymalnego kąta – określa maksymalne (graniczne) nachylenie płaszczyzny dachu, przekroczenie tej wartości powodując, że nie zostanie ona wykryta,
- dokładności wysokościowej – dzięki zdefiniowaniu poprzednich parametrów zostały wykryte płaszczyzny planarne dachów; parametr dokładności wysokościowej określa natomiast, które punkty zostaną zakwalifikowane do budynku, biorąc pod uwagę ich odległość od wyróżnionej płaszczyzny,
- maksymalnego odstępu – parametr ten określa maksymalną przerwę pomiędzy płaszczyznami dachu w pionie, aby można je zaliczyć do jednej płaszczyzny.

Ostatecznym wynikiem tak przeprowadzonej klasyfikacji jest przypisanie punktu do odpowiedniej klasy. Do dalszych analiz wykorzystano punkty należące do klasy 6 według formatu LAS 1.2. ASPRS, utożsamianą z budynkami i budowlami. W pracy autorzy wykorzystali już sklasyfikowane chmury punktów ALS. Proces klasyfikacji został wykonany, zgodnie z powyższą metodyką, przez dostawcę danych. Podczas analizy, wybrane fragmenty chmur punktów ALS dla obszaru były ponadto poddawane testom, z różnymi ustawieniami parametrów algorytmu detekcji budynków w TerraScan (Terrasolid). Testy były przeprowadzane w celu sprawdzenia możliwości wykrycia obiektów związanych z gospodarką łowiecką – paśników i ambon. Wyniki tych testów nie zwiększały dokładności wykrycia obiektów oraz generowały zdecydowanie więcej szumów i błędów klasyfikacji niż na otrzymanych danych.

Konwersja dużych zbiorów chmur punktów z lotniczego skanowania laserowego do formatu Multipoint (Esri) wymaga wykorzystania znacznych mocy obliczeniowych komputera, co spowodowało konieczność podzielenia jej na etapy przetwarzania (rys. 2). Pierwszy etap przetworzeń polegał na konwersji klasy 6 z formatu LAS 1.2. do formatu Multipoint obsługiwane przez geobazę plikową ArcGIS (Esri).

Równolegle warstwy wydzielen drzewostanowych (LMN) z poszczególnych nadleśnictw połączono ze sobą (narzędzie *Merge* (Data Management Tools/General)) i wygenerowano 100-metrowy bufor (narzędzie *Buffer* (Analysis Tools/Proximity) wokół nich. W opcjach generowania buforu zaznaczono opcję rozmycia granic, w wyniku czego otrzymano jeden rekord w tabeli atrybutów. W procesie przetwarzano 34,4 tys. wydzielen drzewostanowych.

Kolejny etap polegał na wyselekcjonowaniu z warstwy *multipoint* wszystkich reprezentacji obiektów znajdujących się w granicach utworzonego buforu i zapisaniu ich do nowej warstwy, która (ograniczona do obszaru zainteresowania) posłużyła do utworzenia obrysów pojedynczych budynków i budowli. W oprogramowaniu ArcGIS 10.3 (Esri) można wykonać to na kilka sposobów, które umożliwiają otrzymanie podobnych rezultatów. W opisywanej pracy skorzystano z funkcji *Aggregate Points* (Cartography Tools/Generalization) identyfikującej grupy punktów, które stanowiły pojedynczy budynek lub budowlę. Narzędzie działa na zasadzie analizy odległości pomiędzy punktami. W parametrach narzędzia wyznaczono maksymalną odległość na 1,5 m, co oznacza, że jeden obiekt złożony będzie z punktów, które spełniają zdefiniowany wymóg odległości pomiędzy nimi. Narzędzie przypisuje atrybu-



Rysunek 2. Schemat przetwarzania danych ALS w programie ArcGIS 10.2 (Esri)

ty do punktów należących do jednego obiektu, a następnie tworzy wokół nich obrys 2D na podstawie minimalnej powierzchni. Przygotowana w ten sposób warstwa poligonowa została wykorzystana do analizy wyników.

Weryfikacja dokładności

Analiza poprawności działania algorytmu detekcji wymagała porównania otrzymanej warstwy budynków i budowli w formacie *shapefile* (Esri) z danymi z lotniczego skanowania laserowego. Operatorzy przeanalizowali 5024 potencjalnych reprezentacji obiektów wykrytych na obszarze zainteresowania. Dla każdego obiektu wygenerowano przekroje poprzeczne i podłużne oraz widoki trójwymiarowe w oprogramowaniu ArcGIS 10. Umożliwiło to identyfikację wysokości obiektu, a także sprawdzenie kompletności wykrycia płaszczyzn. Weryfikacja dokładności klasyfikacji, w tym identyfikacja błędnych obiektów, odbywała się ponadto przy wykorzystaniu danych referencyjnych. Dane te stanowiły: ortofotomapa w barwach naturalnych RGB o pikselu 0,5 m (pozyskana w ramach nalotu fotogrametrycznego w tym samym czasie, co rejestracja danych z lotniczego skanowania laserowego) oraz warstwy pochodzące z LMN (*bud_pol* – warstwa budynków i budowli, *low_pkt* – warstwa obiektów łowieckich, *tur_pkt* – punktowe obiekty turystyczne).

Na obszarze wydzieleni oraz w buforze 100 metrów od nich w warstwie wektorowej *bud_pol* znajdowało się łącznie 577 budynków. Dane te posłużyły jako referencja do weryfikacji obiektów zidentyfikowanych w wyniku analizy danych ALS. Dokładność lokalizacji

obiektów w LMN szacuje się na kilka metrów, dlatego w analizie jako referencje wykorzystano dodatkowo dane z aktualnych ortofotomap lotniczych (pozyskane w ramach nalotu fotogrametrycznego w tym samym czasie co dane z lotniczego skanowania laserowego). Analiza prawidłowości klasyfikacji chmury punktów ALS obejmowała sprawdzenie czy budynek został wykryty czy nie. Dodatkowo sprawdzono na ortofotomapie lotniczej jakie budynki nie zostały wykryte. Wybrane obiekty przedstawia rysunek 3.

Wyniki i dyskusja

Ostatecznie za pomocą analiz przestrzennych wykonanych na podstawie klasy 6. chmury punktów ALS zweryfikowano istnienie 515 budynków, co stanowi 89,2% wszystkich budynków w warstwie LMN (tab. 1). Na poszczególnych obszarach A, B, C (patrz rys. 1) dokładność wyniosła odpowiednio 80,5, 92,4 i 91,2%. Nie udało się wykryć 62 budynków (10,8%) istniejących w terenie w dniu wykonania lotniczego skanowania laserowego (widocznych na ortofotomapie pozyskanej w ramach nalotu fotogrametrycznego w tym samym czasie co rejestracja danych z lotniczego skanowania laserowego). W wyniku weryfikacji stwierdzono, że 50 budynków (8,7%) nie zostało wykrytych ze względu na różnice w aktualności i kompletności danych LMN (aktualność warstwy *bud_pol* została określona przez nadleśnictwa na początek 2012 roku) i teledetekcyjnych (lipiec/sierpień 2012). Niewykrycie 11 budynków na obszarze C wynikało z zastosowanego pokrycia dachów papą. Wiązka lasera, która trafiła w dach budynku pokrytego papą była pochłaniana i nie wracała do skanera bądź wracała do skanera, jednak ze względu na niską intensywność w procesie przetwarzania danych ALS była klasyfikowana jako szum.

Tabela 1. Zestawienie liczby wykrytych budynków za pomocą analiz przestrzennych w porównaniu do LMN

Obszar	Liczba budynków w bazie geometrycznej LMN	Liczba wykrytych budynków	Liczba niewykrytych budynków	Procent niewykrytych budynków
A	123	99 (0 budynków na terenie wydziałów drzewostanowych)	24	19,5
B	158	146 (4 budynki na terenie wydziałów drzewostanowych)	12	7,5
C	296	270 (11 budynków na terenie wydziałów drzewostanowych)	26	8,7

Drugie przedstawione zestawienie (tab. 2) dotyczy wszystkich obiektów położonych całkowicie lub częściowo na obszarze wydziałów. W zestawieniu wyróżniono cztery klasy obiektów: budynki, most/przepust, błąd klasyfikacji, inne obiekty (niezidentyfikowane). Na obszarze wydziałów zidentyfikowano 560 (42,2%) budynków lub obiektów posiadających płaszczyzny dachów, przykładowo pałnice lub ambony. Nie było jednak możliwości jednoznacznie określenia, czy dany obiekt to budynek w rozumieniu prawa budowlanego czy nie. Takie rozróżnienie wymaga przeprowadzenia identyfikacji w terenie. Jako potencjalne mosty lub przepusty zaklasyfikowano 624 (47%) obiekty znajdujące się na obszarze analizy. Jako budynki błędnie sklasyfikowanych zostało 129 obiektów (10,8%). W większości przypadków były to gałęzie drzew, które powinny zostać sklasyfikowane jako średnia bądź wy-

soka roślinność, bądź jako elementy tymczasowo występujące w danym miejscu, takie jak np. stosy drewna (prawidłowa klasa – niesklasyfikowane). Z bazy geometrycznej LMN wykorzystano również warstwę *low_pkt* zawierającą informacje między innymi o ambonach i paśnikach. Automatyczne algorytmy poprawnie zaklasyfikowały jako budynki lub budowle 27 z 41 paśników. W ponad 90% ambon (37 z 41) punkty zeskanowane na ich dachach oraz pozostałej konstrukcji zostały zaklasyfikowane do punktów niesklasyfikowanych. Cztery ambony nie zostały wykryte. Analiza detekcji paśników i ambon dotyczyła tylko terenu Nadleśnictwa Szklarska Poręba. Dla tego obszaru przeprowadzono dodatkowe testy z różnymi ustawieniami algorytmu, które nie poprawiły wyniku detekcji paśników oraz ambon. Zmiana ustawień algorytmu detekcji budynków spowodowała zwiększenie liczby szumów i błędnie sklasyfikowanych punktów jako budynki na obszarze analizy.

Otrzymane wyniki dokładności detekcji budynków, biorąc pod uwagę odsetek wykrytych obiektów z LMN, są porównywalne z opisanymi dotychczas w literaturze zarówno przy zastosowaniu tradycyjnych ortofotomap (głównie tereny miejskie) (Person i in., 2005; Müller, Zaum, 2005) oraz chmury punktów i jej przetworzeń (Champion, 2007; Stereńczak i in., 2012). W pracach tych dokładność wynosiła od 73 do 95%. Brak referencji dla obiektów inżynierskich (mostów, przepustów) uniemożliwia oszacowanie dokładności tego fragmentu pracy. Dla obiektów związanych z gospodarką łowiecką dokładność klasyfikacji wyniosła dla paśników 65,6%.

Tabela 2. Zestawienie obiektów (budynków i budowli) znalezionych za pomocą analiz przestrzennych na terenie wydzieleni drzewostanowych

Obiekt	Obszar A	Obszar B	Obszar C
Budynki	147	117	296
Most/ przepust	174	165	285
Błąd klasyfikacji	19	101	23

Wnioski

Przeprowadzone analizy pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

1. Dane z lotniczego skanowania laserowego można wykorzystać do aktualizacji wybranych warstw LMN, zawierających między innymi informacje na temat budynków i budowli (warstwa budynków (*bud_pol*)). W przypadku obiektów typu paśniki i ambony zastosowany algorytm detekcji płaszczyzn w TerraScan (Terrasolid) nie przyniósł spodziewanych rezultatów, pomimo przetestowania różnych ustawień algorytmu.
2. Na podstawie danych ALS nie jesteśmy w stanie zidentyfikować czy dany obiekt jest budynkiem w rozumieniu przepisów prawa. Dlatego wykorzystanie tych danych do kontroli naruszeń na terenach lasów państwowych wymaga dodatkowego przeprowadzenia wizji terenowej, która potwierdziłaby ostatecznie, czy wykryty obiekt jest trwale związany z gruntem, posiada fundamenty itd. (Ustawa, 1994). Po wykonaniu inwentaryzacji terenowej należy również sprawdzić czy dany obiekt znajduje się w ewidencji gruntów i budynków (EGiB) aby mieć pewność, że został wybudowany na podstawie ważnej decyzji właściwego organu.
3. Dane ALS umożliwiają wykrycie budynków pod okapem drzewostanów, co jest niezmiernie trudne lub wręcz niemożliwe przy zastosowaniu ortofotomap. Wykrycie budynków za pomocą danych ALS także ma ograniczenia wynikające między innymi z: rodzaju pokrycia dachu, zwarcia okapu drzewostanu, gęstości punktów.

4. Większe możliwości wykrycia budynków lub pańników pod okapem drzewostanu liściastego prawdopodobnie można by uzyskać wykorzystując dane z lotniczego skanowania laserowego wykonanego w okresie bezlistnym. Emitowana przez skaner wiązka laserowa przenika wtedy lepiej przez korony drzew, częściej dochodząc do niższych partii drzewostanu lub do gruntu.
5. Wykrycie budynków z bitumicznym pokryciem dachów jest bardzo utrudnione ponieważ wiązka LiDAR jest bardzo często pochłaniana przez papę.
6. Dane z lotniczego skanowania laserowego mogą być przetwarzane przy zastosowaniu darmowego oprogramowania, na przykład: QGIS, SAGA, Fugro Viewer.
7. Dostępność danych z lotniczego skanowania laserowego z projektu ISOK sprawia, że dane te mogą być powszechnie wykorzystywane do aktualizacji LMN w zakresie informacji o budynkach.

Literatura

- ASPRS LAS Specification version 1.3 – R10.
- Axelsson P., 2000: DEM generation from laser scanner data using adaptive TIN models. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing* 38(4b): 110-117.
- Będkowski K., Mikrut S., 2006: Skanowanie laserowe jako źródło informacji przestrzennych dotyczących lasów. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji* vol. 16.
- Bucior M., Borowiec N., Jędrzychowski I., Pyka K., 2006: Wykrywanie budynków na podstawie lotniczego skanowania laserowego. *Roczniki Geomatyki* t. 4, z. 3: 57-70, PTIP, Warszawa.
- Champion N., 2007: 2D building change detection from high resolution aerial images and correlation Digital Surface Models. *Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* vol. XXXVI 3(W49A): 197-202.
- Dash J., Steinle E., Singh R.P., Bähr H.P., 2004: Automatic building extraction from laser scanning data: an input tool for disaster management. *Advances in Space Research* 33: 317-322.
- Hejmanowska B., Borowiec N., Badurska M., 2008: Przetwarzanie lotniczych danych lidarowych dla potrzeb generowania NMT i NMPT. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, vol. 18a: 151-162.
- Hyypä J., Yu X., Hyypä H., Vastaranta M., Holopainen M., Kukko A., Kaartinen H., Jaakkola A., Vaaja M., Koskinen J., Alho P., 2012: Advances in Forest Inventory Using Airborne Laser Scanning. *Remote Sensing* 4(5): 1190-1207.
- Kwoczyńska B., 2013: Błędy NMT i NMPT wynikające z automatycznej klasyfikacji chmury punktów pochodzącej z lotniczego skanowania laserowego przy zastosowaniu oprogramowania Terra Scan. *Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich* 2/II/2013: 17-30.
- Kulesza Ł., 2007: Automatyczna detekcja i modelowanie budynków przy pomocy programu Terra Scan. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji* vol. 17a: 415-424.
- Miścicki S., Stereńczak K., 2013: Określanie miąższości i zagęszczenia drzew w drzewostanach centralnej Polski na podstawie danych lotniczego skanowania laserowego w dwufazowej metodzie inwentaryzacji zasobów drzewnych. *Leśne Prace Badawcze* vol. 74(2): 127-136.
- Müller S., Zaum D., 2005: Robust Building Detection in Aerial Images. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* vol. XXXVI: 29-30.
- Olsen B., Knudsen T., 2005: Automated change detection for validation and update of geodata. [In:] Proceedings of 6th Geomatic Week, Barcelona, Spain.
- Persson M., Sandvall M., Duckett T., 2005: Automatic Building Detection from Aerial Images for Mobile Robot Mapping. Proceedings 2005 IEEE International Symposium on In Computational Intelligence in Robotics and Automation, June 27-30: 273-278, Espoo, Finland.
- Stereńczak K., Ciesielski M., Zalewska K., 2012: Detekcja budynków na terenach o dużej lesistości na przykładzie Parku Narodowego Gór Stołowych. *Roczniki Geomatyki* t.10, z. 5(55): 67-78, PTIP, Warszawa.
- Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. *Prawo Budowlane*. Dz.U. 1994 nr 89 poz. 414 ze zmianami.
- Weinacker H., Koch B., Heyder U., Weinacker R., 2004: Development of filtering, segmentation and modeling modules for LIDAR and multispectral data as a fundament of an automatic forest inventory system. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XXXVI-8/W2.

- Węzyk P. (ed.), 2014: Podręcznik dla uczestników szkoleń z wykorzystania produktów LiDAR. 328 s. Warszawa, ISBN: 978-83-254-2090-1.
- Węzyk P., Szostak M., Tompalski P., 2010: Aktualizacja baz danych SILP oraz Leśnej Mapy Numerycznej w oparciu o dane z lotniczego skaningu laserowego. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji* vol. 21: 437-446.
- Zarządzenie Dyrektora Generalnego Lasów Państwowych z dnia 20 kwietnia 2005 r. w sprawie zdefiniowania standardu leśnej mapy numerycznej dla poziomu nadleśnictwa oraz wdrażania systemu informacji przestrzennej w nadleśnictwach. OI-0400-01-10-3/05.

Streszczenie

Celem pracy było sprawdzenie możliwości wykorzystania danych z lotniczego skanowania laserowego do detekcji budynków na terenach leśnych. Ponadto sprawdzono możliwość wykorzystania tych danych do aktualizacji wybranych warstw z leśnej mapy numerycznej.

W pracy przeanalizowano obszar leśny wraz z buforem 100 m wokół wydziełów na terenie dwunastu nadleśnictw górskich, położonych na obszarach badawczych w Sudetach i Beskidach. Przy wykorzystaniu danych z lotniczego skanowania laserowego wykryto 515 budynków co stanowiło 89,2% wszystkich budynków znajdujących się w wektorowej warstwie wydziełów leśnych. Na poszczególnych obszarach badawczych osiągnięto dokładność odpowiednio 80,5%, 94,2% i 91,2%.

Podsumowując, lotnicze skanowanie laserowe może być wykorzystywane do aktualizacji wybranych warstw w leśnej mapie numerycznej, zawierających informacje o budynkach oraz obiektach budowlanych. Istniejące algorytmy detekcji budynków nie są bezbłędne, więc przyszłe prace powinny skupić się na poprawie dokładności analiz.

Abstract

The aim of the presented studies was to determine the ability to detect buildings in forest areas on the basis of airborne laser scanning data. Moreover, the usefulness of this data for updating selected items of the FDM has been evaluated.

In this study forest areas with a 100 m buffer zone have been analyzed, including twelve mountain forest districts, grouped in three research areas located in the Sudety and the Beskidy Mountains.

Using LiDAR data 515 buildings have been detected which represents 89.2% of all buildings in the vector layer of the digital forest map. In particular research areas the detection accuracy reached to 80.5%, 92.4%, 91.2%.

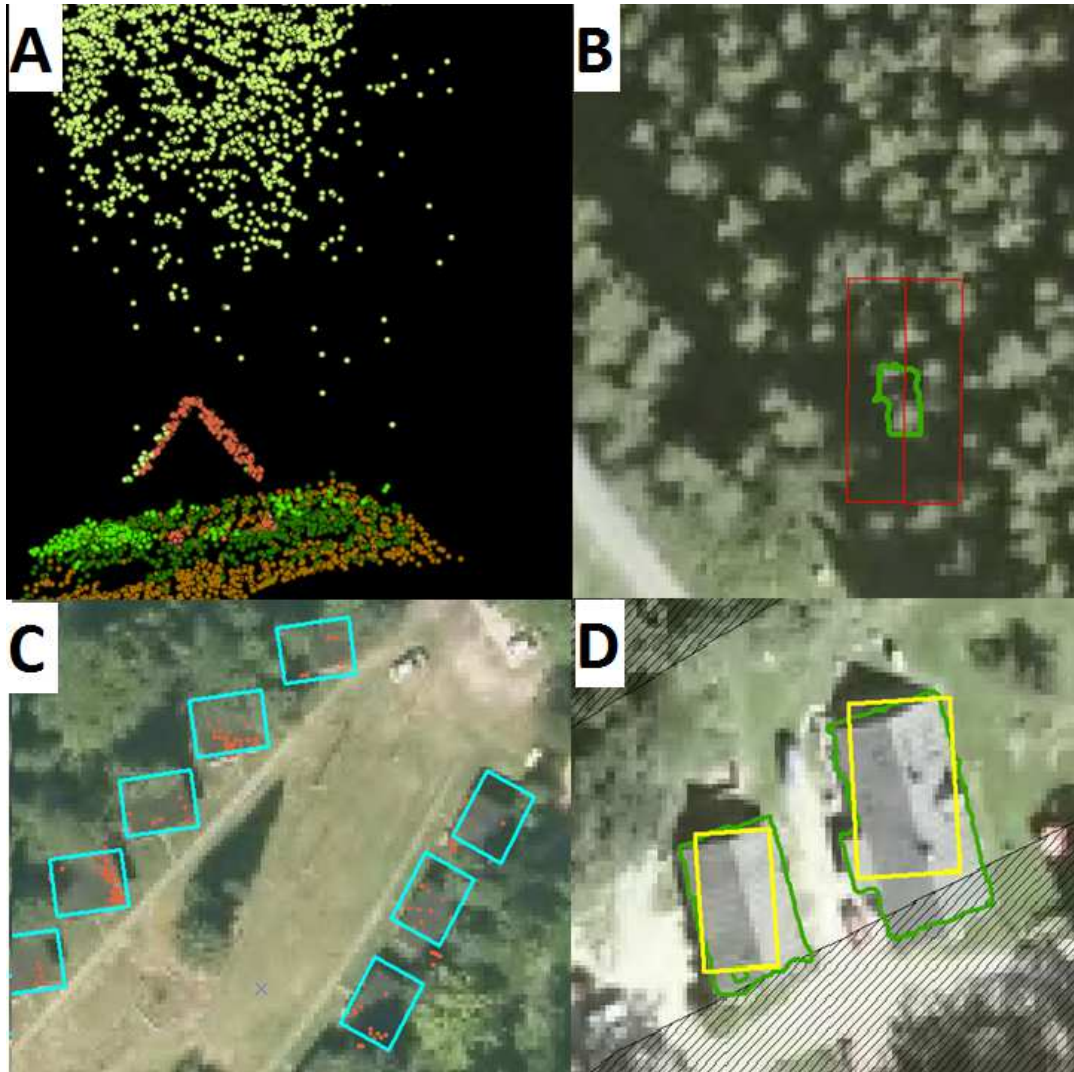
As a result of the study it can be concluded that the airborne laser scanning data may be helpful in updating the selected layers of the digital maps of forest, containing information of forest engineering. Existing building detection algorithms are not error-free, so further research should be conducted to improve the accuracy of analyzes.

mgr inż. Mariusz Ciesielski
M.ciesielski@ibles.waw.pl

mgr inż. Radomir Bałazy
R.Balazy@ibles.waw.pl

mgr inż. Krzysztof Mitelsztedt
K.Mitelsztedt@ibles.waw.pl

prof. dr hab. inż. Tomasz Zawila-Niedźwiecki
Tomasz.zawila@lasy.gov.pl



Rysunek 3. Obiekty: A – paśnik pod okapem drzewostanu sklasyfikowany jako budynek,
 B – paśnik na ortofotomapie wraz z linią przekroju,
 C – budynki w LMN (kolor niebieski) oraz punkty odbite od dachu i zarejestrowane przez LiDAR
 (kolor czerwony), przykład wpływu pokrycia dachu na odbicie,
 D – porównanie danych LMN (kolor żółty) oraz danych LiDAR (kolor zielony)