

Ocena przydatności oprogramowania LAStools do przetwarzania danych z lotniczego skaningu laserowego (ALS), cz. II

Triathlon dwóch aplikacji

W poprzedniej części artykułu (GEODETA 9/2013) poznaliśmy bogate narzędzia oferowane przez LAStools do przetwarzania danych ALS. Teraz przekonajmy się, jak sprawdzają się one w praktyce na przykładzie generowania numerycznych modeli terenu.

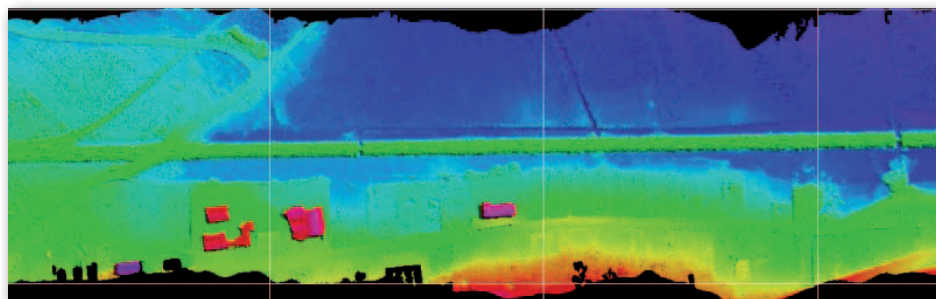
Jagoda Pietrzak

Oceny dokonano przez porównanie z komercyjnym pakietem TerraSolid, który można uznać za narzędzie wyznaczające standard w przetwarzaniu danych ALS. Jego moduł do postprocessingu – TerraScan – daje bardzo dobre rezultaty filtracji i klasyfikacji chmury punktów, wymaga jednak znaczącego i czasochłonnego udziału doświadczanego operatora. Ponadto do pracy z nim konieczny jest program MicroStation.

Narzędziem LAStools do filtracji odbić gruntu jest LASground (opisany w I części artykułu). Z uwagi na szerokie zastosowanie NMT i związane z tym różnorodne wymagania dla tych danych badanie ukierunkowano na pozyskanie modelu właściwego do tworzenia ortofotomapy. Za powierzchnię terenu uznano więc zewnętrzne powierzchnie gleb, skał, nawierzchnie sztuczne, budowle ziemne, ale pomija się obiekty wystające nad teren (budynki, drzewa, mosty, wiadukty). Dyskusyjne przypadki oceniane były pod kątem wykorzystania do ortofotomapy. Na przykład za prawidłową uznano klasyfikację szyn, nasypów, nawierzchni peronów itp. jako gruntu.

W obydwu programach przeprowadzono filtrację z różnymi parametrami dla trzech obszarów testowych. W pierwszej kolejności sprawdzano możliwości filtracji z zastosowaniem domyślnych ustawień. Pozwala to przynajmniej częściowo ocenić możliwość przeprowadzenia tego procesu bez dodatkowej ingerencji oraz poziom zaufania, z jakim należy przyjmować uzyskane w ten sposób wyniki.

Gdy wyniki były niezadowolające, modyfikowano parametry skryptu w kierunku uzyskania filtracji możliwie najbliż-



Rys. 1. Rezultat filtracji w LASground w zmodyfikowanym trybie forest or hills wyświetlony jako model terenu w programie TerraModeler. Na różowo błędnie sklasyfikowane budynki

szej rzeczywistości. Dla każdej z aplikacji wybrano wyniki najbardziej zadowalające. Najlepiej przefiltrowane chmury (po jednej z LASground i TerraScan) wczytywano następnie do TerraScan, punkty gruntu z każdej z nich przenoszono do osobnej nowej klasy i oznaczano odrębnym kolorem. Dzięki temu możliwe było wizualne rozróżnienie klas gruntu z dwóch różnych plików. Następnie analizowano cały obszar, by odnaleźć fragmenty, gdzie występujące struktury zostały sklasyfikowane odmiennie.

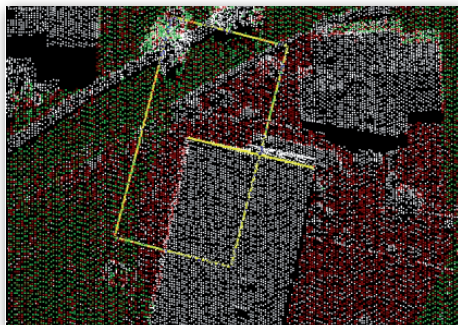
Do badania wykorzystano dane z terytorium Polski i Finlandii. Chmura dla naszego kraju pochodziła z eksperymentalnego nalotu sprawdzającego przydatność ALS dla potrzeb inwentaryzacji infrastruktury kolejowej, wykonanego w 2010 r. na zamówienie Wydziału Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska AGH. Charakterystyczne dla tych danych było występowanie wąskiego nasypu w części linii kolejowej, licznych mostów, wiaduktów i przepustów oraz innych elementów infrastruktury kolejowej. Wykorzystano chmurę pozyska-

ną z wysokości 300 m o średniej gęstości 17 pkt/m². Do testów wybrano fragment o powierzchni ok. 0,5 km² składający się z 12 mln pkt o gęstości około 21 pkt/m².

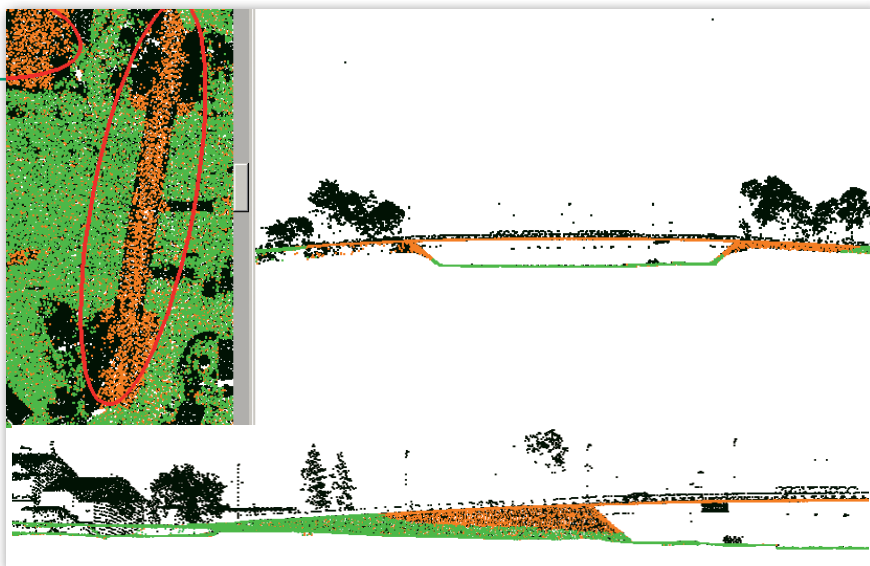
Drugim źródłem danych były zasoby Fińskiego Urzędu Geodezji (NLS) dostępne bezpłatnie od 1 maja 2012 r. Skany podzielone na kafelki o boku 3 km pobrano z serwisu tiedostopalvelu.maanmittauslaitos.fi w plikach LAZ. Wybrano z nich dwa obszary testowe. Pierwszy to fragment Helsinek z regularną zabudową miejską, przemysłową zabudową nadbrzeża portowego, długimi mostami oraz niewielkim terenem zielonym. Drugi pochodzi z Parku Narodowego Nuukio i pokryty jest prawie w całości lasem. Minimalna gęstość punktów skanów z NLS wynosi 0,5 pkt/m², a dla wybranych do testu obszarów – 0,76 pkt/m² (Helsinki) i 0,88 pkt/m² (Nuukio).

• Bochnia: kłopot z koleją i otworami w dachu

Wąski nasyp kolejowy przebiegający po płaskim terenie dla obu programów



Rys. 2. Różnice w klasyfikacji gruntu przez LASground (na czerwono, pierwszy plan) i TerraScan (na zielono)



Rys. 3. Różnice w klasyfikacji gruntu dla okolic wiaduktu drogowego wykonanej przez LASground (na zielono, pierwszy plan) i TerraScan (na pomarańczowo)



Rys. 4. Problematyczna dla algorytmów filtracji struktura dachu z otworami wentylacyjnymi (fot. z archiwum AGH)

okazał się obiektem niezwykle kłopotliwym (rys. 1). LASground miał problem z jednoczesną prawidłową filtracją nasypu oraz budynków – albo odrzucał nasyp z klasy gruntu, albo błędnie włączał do niej dachy. Najlepsze wyniki uzyskano, stosując tryb *forest or hills* z parametrem *step* zmniejszonym na 5 metrów i aktywną opcją *ultra fine*. Linia kolejowa w całości trafiła wówczas do klasy gruntu, lecz jednocześnie błędnie włączono do niej dachy pięciu budynków o największej powierzchni. Z kolei szyny kolejowe zostały sklasyfikowane bardzo dokładnie. Dla obszarów, gdzie linia kolejowa nie przebiegała po nasypie, zadowalający rezultat otrzymano przy zastosowaniu trybu *town or flats*, który wybrano jako reprezentatywny do porównania. Posiada on parametry ustawiane domyślnie na wartości: *step* = 10 m, *spike* = 1 + 1,5 m, *offset* = 0,05 m. Filtrację w TerraScan wykonano z ustawieniami domyślnymi oraz aktywną opcją *reduce iteration angle when edge length < 5 m*.

Jakość filtracji przeprowadzonej w obu aplikacjach była podobna. W analizowanym obszarze odnaleziono 4 obiekty od-

miennie sklasyfikowane przez każdy z programów. LASground lepiej poradził sobie z powierzchnią gruntu pomiędzy dwoma położonymi blisko siebie budynkami oraz wiaduktem przebiegającym ponad nasypem kolejowym. TerraScan uporał się natomiast z fragmentem wielostopniowego dachu i dachem hipermarketu, które błędnie sklasyfikował LASground.

W pierwszym przypadku (rys. 2) budynki znajdowały się w odległości 3,5 m, większy miał wymiar 45 na 13 m, a mniejszy – 10 na 13 m. Problemem dla algorytmu mogło być specyficzne usytuowanie budynków względem siebie, powodujące bliskość ich naroży. Algorytm TerraScan mógł traktować oba budynki jako jeden ze względu na ich kształt i otoczenie (teren nie był płaski, ale „schodkowy”).

Wspomniany wiadukt miał długość około 90 m i szerokość 12 m. Bliższą rzeczywistej sytuacji klasyfikację przeprowadził algorytm LASground (rys. 3). Jednak i w tej filtracji rezultat nie jest w pełni zadowalający. Jako odbicia gruntu nie zostały uznane miejsca połączenia wiaduktu z drogą o nawierzchni znajdującej się bezpośrednio na powierzchni terenu – jezdnia przebiega tu po nasypie. Wysokość nasypu względem reszty terenu to około 6 m. W związku ze stopniowym, łagodnym przebiegiem tego elementu liniowego problem jego klasyfikacji jest trudny do rozwiązania automatycznie.

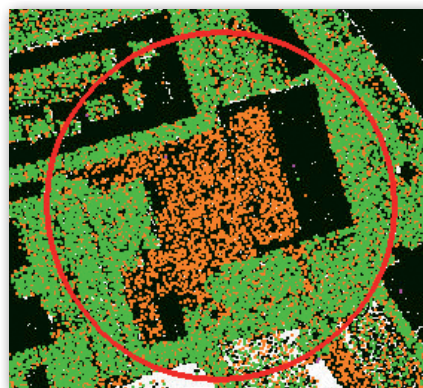
Z kolei TerraScan lepiej poradził sobie z fragmentem wielostopniowego dachu budynku. Fragment dachu położony znacznie niżej od jego głównej części został poprawnie rozpoznany jako obiekt, podczas gdy LASground przefiltrował go jako grunt. Następny kłopotliwy dla LASground obiekt to duża hala, której dach częściowo trafił do klasy gruntu. TerraScan zaklasyfikował prawie cały obszar prawidłowo. Budynek ma wymiary około 120 na 80 m. Dla obydwu aplikacji proble-

matyczne okazały się otwory wentylacyjne (rys. 4), przez które impuls laserowy musiał trafić do wnętrza hali. Prawdopodobnie obydwa algorytmy wybrały na tym obszarze punkty inicjalne, co wpłynęło na efekt późniejszej filtracji.

• Helsinki: czy wiadukt i dziedziniec to grunt?

Do analizy stolicy Finlandii w LASground wybrano filtrację w trybie *city or warehouses* z domyślnymi parametrami o wartościach: *step* = 25 m, *spike* = 1 + 1,5 m oraz *offset* = 0,05 m. Wstępna wizualna ocena po wyświetleniu w LASview wskazywała, że filtracja została przeprowadzona poprawnie na prawie całym obszarze. Zastrzeżenia budził jedynie połowicznie sklasyfikowany jeden z mostów.

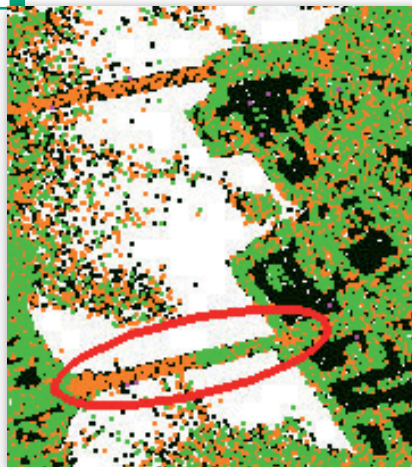
Klasyfikację w TerraScan początkowo wykonano z ustawieniami domyślnymi, jednak wynik był niezadowalający. Po kilku próbach za akceptowalny przyjęto rezultat z parametrem *maximum building size* = 130 m oraz pozostawionymi bez zmian. Choć w rzeczywistości największy budynek na tym obszarze miał długość około 400 m, został prawidłowo zaklasyfikowany przy zastosowaniu ustawień domyślnych. Nie zwiększano zatem wartości *maximum*



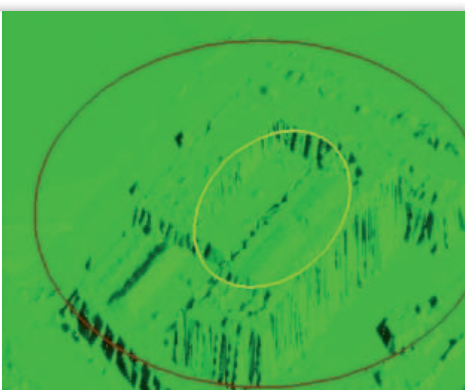
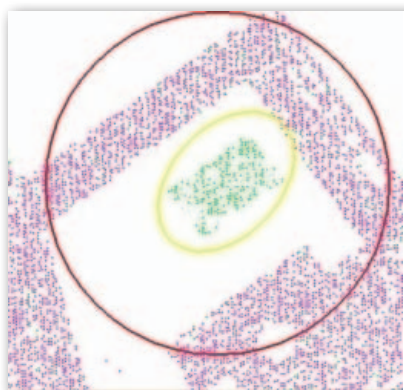
Rys. 5. Różnice w filtracji gruntu dla okolic budynku w LASground (na zielono, pierwszy plan) i TerraScan (na pomarańczowo)



Rys. 6. Budynek błędnie sklasyfikowany przez TerraScan (fot. Google Earth)



Rys. 7. Testowy obszar Helsinek na zdjęciu satelitalnym z zasobów NLS i różnice w klasyfikacji gruntu dla okolic mostów (widocznych w lewym górnym rogu zdjęcia) przez LASground (na zielono, pierwszy plan) oraz TerraScan (na pomarańczowo)



Rys. 8. Plac problematyczny dla TerraScan. Po lewej prawidłowa klasyfikacja LAsTools (na zielono) oraz nałożona na nią błędna (na różowo) z TerraScan

building size do 400 m, aby nie tracić dokładności filtracji w innych rejonach. W wynikach wszystkich przeprowadzonych filtracji obszar zatoki został zaklasyfikowany jako grunt z oczywistych względów – tafla wody jest powierzchnią prawie idealnie płaską o wysokości zbliżonej do otaczającego ją terenu.

Podczas filtracji chmury z Helsinek LASground dał znacznie lepsze wyniki niż TerraScan. Jeden z największych budynków (rys. 5 i 6) w okolicy został sklasyfikowany błędnie jako grunt przez TerraScan, mimo że pozostałe obiekty o podobnych gabarytach zostały przetworzone poprawnie. Wpływ na to mógł mieć kwadratowy kształt obiektu (bok ok. 130 m) – pozostałe budynki nadbrzeża są bowiem prostokątne. Innym czynnikiem mogła być schodkowa struktura poszczególnych części dachu.

Dla konstrukcji, jaką jest most przebiegający nad zatoką, oczekiwany wynik klasyfikacji jest oczywisty – nie należy on do klasy gruntu. Zważywszy na wymiary mostów, które występują na analizowanym obszarze (około 25 m szerokości oraz około 400 m długości), powinny być one z łatwością rozpoznane. Również w tym przypadku zdecydowanie lepiej prezentuje się wynik uzyskany w pro-

gramie LASground (rys. 7). Bardziej wysunięty na północ most został przez LASground w całości wykluczony z klasy gruntu, zaś most położony nieco na południe – zaklasyfikowany do niej jedynie częściowo. Natomiast program TerraScan niezależnie od stosowanych ustawień, także po zamianie kąta iteracji, klasyfikował oba mosty jako ziemię. Przeprowadzono więc dodatkową filtrację, ustawiając parametr *maximum building size* na 400 m, jako że tej długości są oba mosty oraz najdłuższy budynek w obszarze. Nie poprawiło to jednak wyników, natomiast w innej części chmury pojawił się błędnie przefiltrowany obszar.

Następną różnicą w działaniu programów jest klasyfikacja dziedzińców wewnątrz

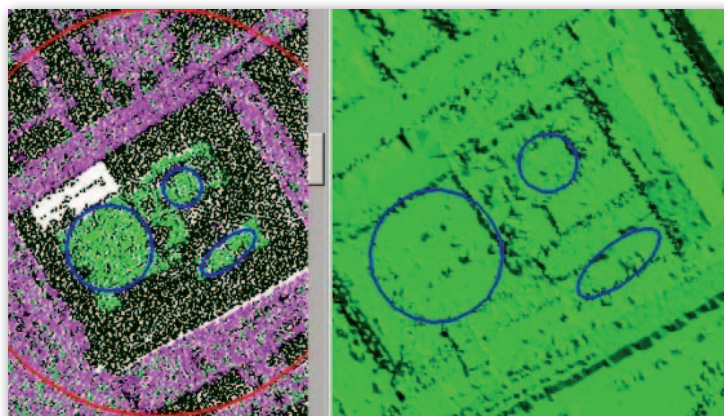
budynków (rys. 8, 9, 10). TerraScan je pomijał, nawet gdy miały znaczne rozmiary, podczas gdy LASground wykonał klasyfikację prawidłowo. Największy z takich placów ma bok o długości 30 m. Po zmianie parametrów klasyfikacji w TerraScan wyniki wprowadzi się poprawiły, ale po zmniejszeniu kąta iteracji fragmenty jezdni trafiły błędnie do klasy *non-ground*.

Kolejnym trudnym obiektem okazał się miejski wiadukt drogowy. O ile LASground słusznie odrzucił go podczas filtracji jako element infrastruktury niezwiązany z powierzchnią ziemi, o tyle w TerraScan został on włączony do klasy gruntu. Tego typu różnica w sposobie klasyfikacji wiaduktów powtarza się wielokrotnie podczas porównywania wyników z obu programów. W przypadku filtracji wykonywanej do innego rodzaju NMT warto zadać pytanie, która z wersji klasyfikacji jest bardziej pożądana: wyłączenie wiaduktu, który rzeczywiście nie jest strukturą związaną z ziemią, czy pozostawienie go pozwalające na zachowanie ciągłości drogi.

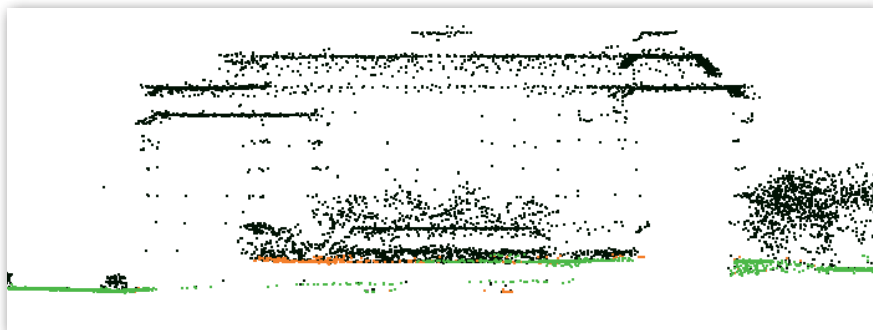
Dość zaskakującym przypadkiem różnicy w klasyfikacji jest pewne uchybienie skryptu LASground. Problematyczny obiekt stanowi plac o boku 35 metrów otoczony budynkami, pośrodku którego znajduje się dość zwarta roślinność (rys. 11 i 12). Oba programy prawidłowo



Rys. 9. Wizualizacja w Google Earth problematycznego obiektu z rys. 8



Rys. 10. Kolejny przykład wewnętrznego dziedzińca poprawnie sklasyfikowanego przez LASground (na zielono, pierwszy plan) i pominiętego przez TerraScan (na różowo)



Rys. 11. Przekrój obrazujący różnice w filtracji przeprowadzonej przez LASground (na zielono, pierwszy plan) i TerraScan (na pomarańczowo)

odrzucały budynek i roślinność podczas filtracji. TerraScan także prawidłowo sklasyfikował plac, w całości włączając go do klasy gruntu. Natomiast LASground z niewiadomych przyczyn połowę terenu odrzucił, a połowę uznał jako grunt. Można przypuszczać, że czynnikiem, który na to wpłynął, było usytuowanie najniższych punktów (punkt placu wybrany jako punkt inicjalny dla modelu TIN) lub przebieg sąsiadującej ulicy wykazujący spadek w kierunku niezaklasyfikowanej części placu (widoczna w przekroju zielona linia u dołu).

• Nuuksio: gęsty las to łatwizna

Zdolność przenikania wiązki lasera do powierzchni terenu nawet na obszarach gęsto zalesionych sprawia, że dane z lotniczego skaningu znajdują szerokie zastosowanie w leśnictwie. Większość takich analiz skupia się na drzewostanie, lecz by mogły być one przeprowadzone, wymagany jest dokładny NMT. Zatem filtracja odbić gruntu jest nie mniej ważna dla obszarów o naturalnym pokryciu terenu. Wybrany fragment Parku Narodowego Nuksio w Finlandii zawiera zbiorniki wodne, gęsty las i odkryty grunt. Filtracja przeprowadzona przez oba skrypty dała zbliżone wyniki. Wizualne wykrycie różnic nie było możliwe ze względu na ich niewielkie wartości, a jednocześnie brakowało na-

rzędzia pozwalającego na przeprowadzenie dokładnej analizy statystycznej tego zagadnienia.

• Jeden algorytm, różne wyniki

Choć oba programy bazują na metodzie aktywnego modelu TIN Petera Axelssona, to jej implementacja jest różna. Widoczne jest to zarówno w parametrach kontrolujących filtrację, jak i w jej rezultatach.

Testy wykazały, że w obu aplikacjach krytycznym parametrem jest rozmiar siatki, za pomocą której następuje przeszukiwanie najniższych punktów w chmurze. W LASground inicjalna siatka jest dużo gęstsza. Określana jest przez parametr *step*, którego wartości domyślne wynoszą od 5 do 50 m. W TerraScan rozmiar siatki określany jest na podstawie parametru *maximum building size*, którego zalecana wartość to 50-100 m. Jednak w praktyce podanie wartości odpowiadającej rzeczywistemu rozmiarowi największego budynku może prowadzić do błędnej klasyfikacji, jeśli parametr znacznie przekracza zalecany zakres. Komercyjny TerraScan posiadający dokładną dokumentację dostępnych funkcji bardzo enigmatycznie opisuje zasadę doboru rozmiaru siatki inicjującej wyszukiwanie najniższych punktów i nie przestrzega przed konsekwencjami znacznego odejścia od wartości sugerowanych.

W LASground już metrowa zmiana wartości parametru *step* powoduje wyraźne zmiany wyników – algorytm jest więc bardzo wrażliwy na rozmiar siatki inicjalnej. Natomiast w TerraScan zmiany na poziomie 10 czy 20 metrów nie powodują większej różnicy w danych.

W konsekwencji różnej implementacji algorytmu Axelssona oba testowane programy dostarczają innych wyników w tych samych przypadkach. Dla LASground problematyczna okazała się jednoczesna filtracja nasypu kolejowego oraz dużych budynków. Bardzo dobrze natomiast radzi sobie z usuwaniem błędnych pomiarów i szumu, dzięki czemu praktycznie nie występują błędy w postaci pojedynczych punktów tworzących w mo-

delu „kolce”. Z kolei TerraScan wykonuje filtrację wiaduktów i mostów, włączając je do klasy gruntu niezależnie od ustawionych parametrów procesu. Błędy pojawiają się także w przypadku placów czy dziedzińców otoczonych zabudowaniami. TerraScan wyklucza je z klasy gruntu, podczas gdy LASground na ogół je odnajduje i poprawnie klasyfikuje jako grunt, oddając ich dokładny kształt.

Programy różnią się także poziomem udziału użytkownika w procesie filtracji. W TerraScan przebiega on w trzech etapach: wydzielenie błędnych odbić, właściwa filtracja odbić gruntu oraz ponowne wyszukiwanie niskich punktów i odrzucenie ich z klasy gruntu. Zmiany w chmurze punktów użytkownik zapisuje w dowolnym momencie. Z jednej strony pozwala to na większą kontrolę procesu, z drugiej wymaga dokładniejszej weryfikacji, a co za tym idzie – większych umiejętności. Przeprowadzenie filtracji za pomocą LASground jest o wiele prostsze, gdyż po wybraniu jednego trybu lub ustawieniu parametrów cały proces od otwarcia pliku, przez sklasyfikowanie punktów gruntu, po zapis wyników odbywa się automatycznie.

• And the winner is...

W procesach produkcyjnych bazujących na danych ALS pożądana jest możliwość filtracji skanów dużych obszarów o różnym typie pokrycia. W praktyce problematyczne jest zarówno przetwarzanie dużej ilości danych, jak i klasyfikacja różnorodnego terenu. Z obydwohoma tymi wyzwaniami lepiej poradzi sobie LASground – operacja filtracji przeprowadzana jest w nim szybciej niż w TerraScan, a jednocześnie daje dobry rezultat na obszarze o różnym pokryciu.

Testy LAsTools pokazują, że może ona stanowić alternatywę dla istniejącego oprogramowania komercyjnego. Z pewnością jest lepszym rozwiązaniem dla użytkowników niespecjalizujących się w przetwarzaniu danych LiDAR-owych, lecz korzystających z ALS jako jednego z wielu źródeł danych. Praca z TerraSolid wymaga wcześniejszej znajomości MicroStation oraz podstaw teoretycznych, by uzyskać dobre jakościowo rezultaty. Obsługa LAsTools jest dużo prostsza i wymaga mniejszej ingerencji użytkownika. Dodatkowo możliwość obsługi aplikacji za pomocą linii poleceń oraz przetwarzania strumieniowego sprawiają, że oprogramowanie to ma szansę stać się użytecznym narzędziem do zautomatyzowanej obróbki danych ze skaningu lotniczego.

Jagoda Pietrzak

Artykuł powstał na bazie pracy dyplomowej pisanej pod opieką dr. hab. Krystiana Pyki



Rys. 12. Błędnie sklasyfikowany dziedziniec zobrazowany w Google Earth