

**OKREŚLENIE ZAKRESU WYKORZYSTANIA DANYCH POCHODZĄCYCH
Z LOTNICZEGO SKANINGU LASEROWEGO W PROCESIE GENEROWANIA
"PRAWDZIWEJ" ORTOFOTOMAPY**

**DETERMINATION OF AIRBORNE LASER SCANNER DATA RANGE
IN PROCESS OF TRUE ORTHOPHOTO GENERATION**

Barbara Zabrzaska-Gąsiorek, Natalia Borowiec

Katedra Geoinformacji, Fotogrametrii i Teledetekcji Środowiska, Wydział Geodezji
Górnictwej i Inżynierii Środowiska, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

SŁOWA KLUCZOWE: ortorektifikacja, prawdziwa ortofotomapa, skaniny laserowe, Numeryczny Model Pokrycia Terenu, Model Budynków.

STRESZCZENIE: Generowanie „prawdziwej” ortofotomapy (ang. *true ortho*) staje się obecnie coraz bardziej popularne. Produkt ten, dotychczas zarezerwowany głównie dla wielkoskalowych zdjęć lotniczych, dzisiaj wkracza nawet do wysokorozdzielczych obrazowań satelitarnych. Szczególnie zainteresowanie „prawdziwą” ortofotomapą daje się zauważyć dla miast o wysokiej zabudowie, bowiem tradycyjna ortofotomapa traci na czytelności przy pojawiających się dużych przesunięciach radialnych dachów budynków. Powodują one zasłonięcie istotnych elementów infrastruktury, takich jak chodniki, ulice, czy sąsiednie budynki. Rozwój w produkcji ortofotograficznej wydaje się być skutkiem zautomatyzowania procesu produkcji, dotychczas w dużej części manualnego i przez to drogiego. Staje się to możliwe przez postęp w dziedzinie pozyskiwania wysokorozdzielczych obrazowań lotniczych i satelitarnych, a przede wszystkim przez możliwość uzyskiwania precyzyjnego Numerycznego Modelu Pokrycia Terenu w sposób automatyczny, głównie za sprawą lotniczego skaningu laserowego, oraz automatycznych technologii fotogrametrycznych.

W części opisowej artykuł przybliży najnowsze technologie stosowane w produkcji *true ortho*, kładąc szczególny nacisk na możliwości automatyzacji procesu. Zawiera próbę rozstrzygnięcia kwestii, czy gęste dane pochodzące ze skaningu laserowego (około 16 pkt/m²) gwarantują wystarczającą jakość i automatyzację wytwarzania „prawdziwej” ortofotomapy, czy konieczna jest dodatkowa obróbka „chmury punktów” skaningu laserowego.

1. WSTĘP

Ortofotomapa jako warstwa tematyczna jest, lub potencjalnie może być istotnym składnikiem informacyjnym w takich dziedzinach jak kartografia, Geograficzne Systemy Informacyjne, planowanie przestrzenne, ochrona środowiska itp. Stanowi podkład mapowy, ale posiada także niezaprzeczalne walory „zdjęć”. Jednak dotychczas powszechnie stosowane metody produkcji ortofotomapy w terenach o zabudowie wielokondygnacyjnej dla produktu wielkoskalowego stają się niewystarczające. Algorytmy służące do wykonania ortofotomapy nie uwzględniają obiektów wznoszących się ponad terenem, takich jak budynki, mosty, roślinność (Amhar et al., 1998; Rau et al., 2002). Skutkuje to widocznymi

na ortofotomapie przesunięciami dachów w stosunku do przyziemia, co z kolei powoduje, że wektorowe warstwy GIS (zawierające obrysy budynków) i dachy budynków widoczne na ortofotomapie nie są w tych samych miejscach. Szczególnie w przypadku wysokiej zabudowy i dodatkowo wąskich ulic przesunięte radialnie budynki skutecznie zasłaniają ulice. Taka ortofotomapa staje się mało czytelna i zniechęca potencjalnego odbiorcę do wykorzystania jej jako podkład mapowy. Stąd rozwój produktu zwanego *true ortho* – „prawdziwa”, czy inaczej „wierna” ortofotomapa.

„Prawdziwa” ortofotomapa nie jest produktem nowym (Amhar et al., 1998). Dotychczasowe metody jej produkcji były jednak w dużej części manualne. Obecnie możliwy staje się coraz większy stopień automatyzacji generowania *true ortho*, ze względu na rozwój technik pozyskiwania danych do modelu terenu o dużej gęstości, takich jak LIDAR, *matching*, SAR, INSAR. *True ortho* dotychczas zarezerwowane głównie dla wielkoskalowych zdjęć lotniczych zaczyna wkraczać także do wysokorozdzielczych zobrazowań satelitarnych QuickBird czy Ikonos, choć w tym przypadku, ze względu na małe pole widzenia (FoV) przesunięcia radialne są niewielkie (Chen et al., 2007). Dodatkowa trudność w tym przypadku polega na konieczności modyfikacji tradycyjnych algorytmów wykrywania martwych pól (Rau et al., 2002) ze względu na niedostępność elementów orientacji zewnętrznej (dostępne są współczynniki RFM/ RPC).

Z drugiej strony w przypadku zdjęć satelitarnych, z uwagi na dużą wysokość lotu oraz małe pole widzenia, zachodzą szczególne warunki do wykorzystania obrazów przetworzonych tradycyjnie na teren, ale spełniających również warunki *true ortho*. (Ewiak et al., 2006). Np. panchromatyczne sceny satelity QuickBird przy kącie wychylenia poniżej 5° stanowią materiał źródłowy do generowania *true ortho* w skali 1:10000 dla obszarów, na których występują budynki o wysokości poniżej 30m. (Podczas gdy dla zdjęć lotniczych wykonanych kamerą szerokokątną dla *true ortho* obiekty nie mogą być wyższe niż 2.5m!). Jednak dla większej skali ortofotomapy, lub wyższej zabudowy powyższe warunki są niewystarczające i do wykonania *true ortho* potrzebny jest szczegółowy Numeryczny Model Pokrycia Terenu.

2. SPOSOBY UWZGLĘDNIANIA ELEMENTÓW POKRYCIA TERENU W KOREKCJI *TRUE ORTHO*

W opracowaniach komercyjnych można spotkać dwa generalne podejścia do problemu generowania *true ortho*, z uwagi na sposób uwzględniania obiektów „wystających” ponad powierzchnią terenu:

- Korekcja ortofotograficzna obejmująca wszystkie elementy należące do pokrycia terenu, tj. budynki, mosty, a także roślinność, itp. (Lohr, 2003; Bignone, 2003)
- Korekcja tylko najistotniejszych elementów infrastruktury, takich jak budynki, mosty. Roślinność pozostaje nieskorygowane, tzn. odpowiada tradycyjnej ortofotokorekcji na teren. (Braun, 2003; Zhou et al., 2004; Zabrzęska, Borowiec, 2006)

2.1. Korekcja ortofotograficzna elementów pokrycia terenu

Przykładowo tego rodzaju korekcję *true ortho* stosuje na szeroką skalę francuska firma ISTAR, w większości zautomatyzowanej linii produkcyjnej zwanej *Pixel Factory*, nie korzystając z systemów lidarowych, lecz z *matchingu* fotogrametrycznego. Najbardziej efektywny sensor dla *Pixel Factory* pod względem szybkości i ekonomiki opracowania to

kamera linikowa typu *pushbroom* (np. ADS40). Przemawia za tym kilka cech charakterystycznych dla tego rodzaju sensora, jak np. obrazy składające się z „długich szeregów”- nie pojedynczych zdjęć, trzy „widoki” zobrazowania (nadirowy, wstecz, w przód) i gwarantowane dla nich pokrycie podłużne, mniejsze wymagane pokrycie poprzeczne, duża homogeniczność obrazów, kluczowa dla *matchingu*. Z chwilą wprowadzenia obrazów do *Pixel Factory* algorytm tworzy setki stereopar i dystrybuuje obliczenia na dostępne komputery w celu przyspieszenia procesu automatycznego *stereo-matchingu*. Multikorelacja wykonywana jest pomiędzy stereoparami w pokryciu podłużnym a także poprzecznym (każdy obiekt występuje na sześciu obrazach), po czym następuje *merging* w celu uzyskania gęstego NMPT. Informacje wysokościowe dotyczą oczywiście pokrycia terenu, a nie samego terenu, co dla generowania *true ortho* jest podstawą. Pozwala to na korekcję elementów pokrycia terenu, także roślinności. W *Pixel Factory* w ortorektyfikacji każdy piksel jest traktowany indywidualnie, określając najlepszą dla niego widoczność spośród wejściowych obrazów, i wybierając go razem z wysokością na modelu NMPT. Ta operacja jest zautomatyzowana. Proces gwarantuje, że każdy punkt na terenie lub powyżej terenu jest widoczny w sposób wertykalny. Efekt mozaikowania, nieodłączny pojedynczym zdjęciom używanym w tradycyjnej fotogrametrii jest pominięty przez powyższy algorytm, obejmujący wszystkie zdjęcia równocześnie.

Inny przykład generowania „prawdziwej” ortofotomapy korygującej przesunięcia radialne wszystkich elementów należących do pokrycia terenu prezentuje niemiecka firma TopoSys. Bazuje on na wykorzystaniu precyzyjnego skanera laserowego *glass fiber*, który daje duże dokładności NMPT. Równocześnie ze skanowaniem laserowym pozyskiwane są informacje obrazowe skanerem liniowym optycznym typu *pushbroom* w czterech zakresach spektralnych (nie ma przesunięć radialnych wzdłuż linii lotu). Lidarowy model pokrycia terenu brany jest jako dane wejściowe do rektyfikacji danych obrazowych w projekcji *true ortho*.

Mankamentem powyższych metod tworzenia „prawdziwej” ortofotomapy jest czułość na wszelkie błędy w uzyskanym modelu pokrycia terenu, widoczne na ostatecznej ortofotomapie w postaci nierównych krawędzi budynków i „dziur” w miejscach grubych błędów na modelu. Minusem tych metod może być także „płynne” przejście od terenu do np. koron drzew (wyglądają jak przykryte materiałem), dające się zauważyć szczególnie przy generowaniu widoków 3D z „prawdziwej” ortofotomapy.

2.2. Korekcja ortofotograficzna budynków

Alternatywą dla rozwiązań obejmujących korekcję przesunięć radialnych wszystkich elementów wznoszących się ponad powierzchnią terenu, także roślinności, mogą być metody polegające na rozdzieleniu NMPT na model opisujący sam teren – NMT, oraz najistotniejsze elementy infrastruktury należące do pokrycia – Model Budynków. Największe wyzwanie, zarazem największy koszt prac stanowi pozyskanie Modelu Budynków.

Dla opracowań wielkoskalowych istnieje wiele metod ekstrakcji Modelu Budynków: od manualnych (bazują na pomiarze krawędzi budynków głównie z pomiarów fotogrametrycznych), przez semiautomatyczne, po próby zautomatyzowania tego procesu. Najczęściej stosowane automatyczne sposoby pozyskania Modelu Budynków koniecznego do wykonania „prawdziwej” ortofotomapy wykorzystują chmurę punktów z pomiarów laserowych lub fotogrametrycznych, wraz z dodatkowymi danymi lub algorytmami, tj.:

- detekcja krawędzi z danych LIDAR, (np. Schwalbe, 2003)
- kombinacja danych LIDAR oraz danych obrazowych (np. Zebedin et al., 2006)
- integracja danych LIDAR z istniejącymi danymi w postaci map wektorowych (np. Haala et al., 1999)

Niniejszy artykuł dotyczy metody wykonywania korekcji *true ortho* dla budynków i mostów w oparciu o automatyczne rozdzielanie NMPT powstałego z chmury punktów laserowych na model opisujący teren (NMT), oraz Model Budynków.

3. PRAKTYCZNE BADANIE WPLYWU GĘSTOŚCI SKANOWANIA LASEROWEGO NA JAKOŚĆ „PRAWDZIWEJ” ORTOFOTMAPY.

W tej części artykułu przedstawione zostaną problemy, które pojawiły się przy próbach tworzenia *true ortho* na podstawie „chmury punktów” laserowych, oraz zdjęć wykonanych kamerą cyfrową.

Badania przeprowadzono na fragmencie danych pochodzących z dwóch projektów rejestracji lotniczej skanerem laserowym, realizowanych w 2004 i 2006 roku na obszarze miasta Krakowa. Dane z projektu pierwszego zawierają punkty laserowe o gęstości 1.5pkt/m², oraz równocześnie wykonane zdjęcia cyfrowe kamerą Hasselblad o rozdzielczości GSD ok. 8cm, pokryciu podłużnym ok. 30% i poprzecznym ok. 30%. Projekt drugi to zbiór punktów o znacznie większej gęstości skaningu laserowego wynoszącej około 16 pkt/m². (Katedra Geoinformacji, Fotogrametrii i Teledetekcji Środowiska AGH uzyskała od Urzędu Miasta Krakowa pozwolenie na wykorzystanie danych ze skaningu laserowego wykonanego w 2004 roku i w 2006 roku do badań naukowych).

Dla procesu ortorektyfikacji ogromną zaletą jest możliwość szybkiego uzyskania dużej dokładności Numerycznego Modelu Terenu oraz Numerycznego Modelu Pokrycia Terenu. Dodatkowym atutem jest zintegrowanie systemu skanującego z kamerą cyfrową, dzięki czemu można uzyskać w jednym czasie dane wysokościowe w postaci „chmury punktów” wraz ze zdjęciami cyfrowymi.

Do przeprowadzenia badań i opracowania wyników wykorzystano narzędzia programu firmy Terrasolid, które są aplikacjami MDL działającymi w środowisku MicroStation (TerraScan, TerraPhoto, TerraModeler). Pakiet ten pozwala na zintegrowanie danych z kamery cyfrowej, z danymi pochodzącymi ze skaningu laserowego. Program nie ma modułu, który pozwalałby na wykonanie *true ortho* za magicznym naciśnięciem „jednego klawisza”. Trzeba korzystać z funkcji dostępnych dla ortorektyfikacji opartej na Numerycznym Modelu Terenu, uwzględniając jednak także elementy pokrycia terenu. Tylko przy odpowiednim doborze danych i algorytmów proces ten można zautomatyzować lub ograniczyć interwencje manualne.

3.1. Ortorektyfikacja oparta na Numerycznym Modelu Terenu

Badania rozpoczęto od tradycyjnej ortorektyfikacji na teren, stosując dla porównania dwie gęstości skaningu laserowego. Ortorektyfikacja, wykonywana od lat z początku na instrumentach analogowych, jest metodą znaną, opracowaną w wielu programach fotogrametrycznych i powszechnie stosowaną komercyjnie. Głównymi danymi wejściowymi są obrazy cyfrowe oraz Numeryczny Model Terenu. Generowanie NMT na podstawie danych laserowych obecnie jest już w dużym stopniu procesem automatycznym.

NMT uzyskuje się poprzez filtrację, czyli wyodrębnienie punktów położonych na powierzchni topograficznej, z całej chmury punktów pomierzonych. W ostatnich latach przeprowadzono wiele badań dotyczących opracowania i rozwoju różnych algorytmów filtracji powierzchni topograficznej. W artykule wykorzystane było oprogramowanie firmy Terrasolid, w którym budowanie modelu terenu bazuje na algorytmie aktywnego modelu TIN (Axelsson, 2000).

W pierwszym etapie opracowania pozyskane punkty, w zależności od wysokości zostały przeklasyfikowane na odpowiednie warstwy: pierwsza to punkty należące do terenu i zapisane na warstwie „ground”, druga warstwa to „low”, do której należą wszystkie punkty niezaklasyfikowane do terenu i znajdujące się poniżej powierzchni topograficznej. Trzecia warstwa zwana „high vegetation” zawiera wszystkie punkty znajdujące się ponad warstwą „ground”. W momencie budowania NMT najważniejszą jest warstwa, do której należą punkty terenowe „ground”. Z punktów tych uzyskuje się NMT w postaci siatki TIN, wykorzystywany w procesie ortorektyfikacji.

W przypadku generowania tradycyjnej ortofotomapy opartej na NMT, który powstał wykorzystując punkty skaningu przeklasyfikowane na warstwę „ground”, proces jest automatyczny. Wykonano dwie ortofotomapy wykorzystując dane laserowe o gęstościach: 1,5 pkt/m² i 16 pkt/m² (Rys. 1; Zabrzaska, Borowiec, 2006). Mimo znacznej różnicy w gęstościach punktów, na obu ortofotomapach obszary niezabudowane zostały poprawnie skorygowane.

Dla obszarów zabudowanych, niezależnie od gęstości danych laserowych będących podstawą do obliczeń NMT, na obu fragmentach ortofotomapy widoczne są identyczne przesunięcia radialne dachu budynku w stosunku do podstawy, oraz linia szwu sztucznie przebiegająca przez budynek, spowodowana automatycznym mozaikowaniem (Rys. 1). Widać, że nawet duża gęstość skanowania laserowego, rzędu 16 pkt/m² nie gwarantuje poprawnego wyglądu budynków na ortofotomapie, co w znaczącym stopniu obniża jej jakość i staje się, szczególnie dla wielkoskalowego produktu dużym mankamentem.



Rys. 1. Fragment ortofotomapy, dla której wykorzystano do ortorektyfikacji NMT z punktów skaningu laserowego o gęstości 16pkt/m² (podobny wynik uzyskano dla gęstości 1.5pkt/m²).

3.2. Ortorektyfikacja uwzględniająca pokrycie terenu.

Jeżeli celem ma być „prawdziwa” ortofotomapa ze skorygowanymi przesunięciami radialnymi elementów wznoszących się ponad terenem, należy w procesie ortorektyfikacji uwzględnić Numeryczny Model Pokrycia Terenu. Jednak dane laserowe o gęstości rzędu 1.5pkt/m² wykorzystane do NMPT, bez dodatkowej obróbki nie są wystarczające do

wykonania dobrej jakości *true ortho*, co wynika z wcześniejszych badań (Zabrzaska, Borowiec, 2006; Braun, 2003). Uzyskane wyniki były nie do przyjęcia, ponieważ ortofotomapa jest pełna „dziur” i poszarpanych krawędzi budynków. Dlatego dane laserowe wymagały dodatkowych nakładów pracy, np. wektorowych pomiarów konturów budynków, detekcji krawędzi, doboru odpowiednich algorytmów filtracyjnych.

Dla dużej gęstości skanowania laserowego (16 pkt/m² - odpowiedź co około 6cm), podobnie jak w przypadku danych o mniejszej gęstości nie wystarczy do wykonania przetwarzania *true ortho* zastosowanie danych wejściowych do modelu w postaci gęstej chmury surowych punktów laserowych. Gołym okiem widać bowiem na fragmencie ortofotomapy mankamenty tego rozwiązania: poszarpane krawędzie dachów, pofalowana droga pomiędzy budynkami, oraz nienaturalnie rozmazane korony drzew (Rys. 2). Takie *true ortho* jest również nie do zaakceptowania.



Rys. 2. Fragment ortofotomapy, dla której wykorzystano do ortorektyfikacji NMPT z wszystkich punktów skaningu laserowego o gęstości 16pkt/m².

W celu usunięcia efektu nierównych krawędzi, ortorektyfikacja została oparta na równoczesnym zastosowaniu modelu terenu - NMT z punktów przeklasyfikowanych na warstwę „*ground*”, oraz modelu pokrycia - NMPT z punktów przeklasyfikowanych na warstwę „*high vegetation*”, zawierającą tylko wysoką roślinność oraz budynki. Pominięte zostały punkty warstwy „*low vegetation*” (niska roślinność, samochody, itp.), co daje znaczną poprawę terenowych elementów liniowych(droga), jednak krawędzie budynków dalej są poszarpane, a korony drzew sztucznie rozmazane, co w dalszym ciągu jest dalekie od ideału. (Rys. 3).



Rys. 3. Fragment ortofotomapy, wygenerowanej na podstawie zbioru punktów NMT oraz punktów NMPT z pominięciem niskiej roślinności.

Przedstawione przykłady potwierdzają fakt, iż w przypadku generowania wielkoskalowej „prawdziwej” ortofotomapy mimo znacznie zwiększonej gęstości punktów, konieczne jest dalsze modelowanie danych laserowych w celu uzyskania dokładnych krawędzi dachów budynków, oraz prawidłowego wyglądu drzew.

Kontynuując badania położono nacisk na automatyzację procesu. Wykonano korekcję samych budynków, pomijając inne elementy wystające ponad powierzchnię terenu (tj. drzewa, słupy). Wynika to z faktu, iż w opracowaniach wielkoskalowych roślinność lepiej wygląda przy korekcji opartej o model terenu, niż o model pokrycia. (Rys. 1, Rys. 3).

Dlatego należy wykonać filtrację punktów laserowych z rozróżnieniem na punkty terenowe (NMT), a z punktów należących do pokrycia terenu (NMPT) pozostawić jedynie te, które służą do modelowania powierzchni dachów budynków (Model Budynków). Dla budynków o prostej strukturze dachu automatyczny algorytm wykrywania punktów laserowych reprezentujących powierzchnię dachu działa dobrze, co dało możliwość rozdzielenia punktów warstwy „*high vegetation*” na warstwy: „*building*” oraz „*trees*”.

Następnym krokiem było wykorzystanie do ortorektyfikacji automatycznie przeklasyfikowanych danych dających w efekcie warstwę NMT uzupełnionego Modelem Budynków. Przy małej gęstości skanowania konieczne było manualne wyznaczenie krawędzi dachów budynków (Zabrzeska, Borowiec, 2006). Czy przy gęstości rzędu 16pkt/m² proces wyznaczania krawędzi konieczny do wykonania „prawdziwej” ortofotomapy można całkowicie zautomatyzować?

Oprogramowanie TerraPhoto, które posłużyło do przeprowadzenia ortorektyfikacji, daje możliwość automatycznego generowania wektorów - krawędzi budynków. Szukane krawędzie są interpolowane z punktów zakwalifikowanych do warstwy „*building*”. Dla porównania wyników przeprowadzono wstępną ekstrakcję krawędzi budynków dla próbek o różnych gęstościach. W przypadku pierwszego projektu krawędzie nie do końca zostały poprawnie wykryte. W wyniku zbyt małej gęstości punktów wykryta krawędź jest linią o licznych załamaniach skierowanych w głąb dachu budynku. W tym przypadku do prawidłowego zrektyfikowania obiektu konieczna jest korekta manualna. W przypadku drugiej próbki, gdzie gęstość danych była około 14 razy większa, widać znaczną poprawę wykrycia krawędzi: linia jest prosta, przebiegająca wzdłuż brzegu dachu, może więc być uwzględniona w ortorektyfikacji. Ostatecznie „prawdziwa” ortofotomapa została wykonana na podstawie punktów należących do NMT, oraz wybranych punktów NMPT opisujących jedynie budynki, z automatycznie wykrytymi krawędziami dachów. Widać wyraźnie, że zwiększenie gęstości danych wpłynęło w dużym stopniu na jakość i automatyzację generowania *true ortho*.



Rys. 4. „Prawdziwa” ortofotomapa z danych laserowych o gęstości 16 pkt/m² powstała w oparciu o NMT oraz Model Budynków z automatyczną ekstrakcją krawędzi.

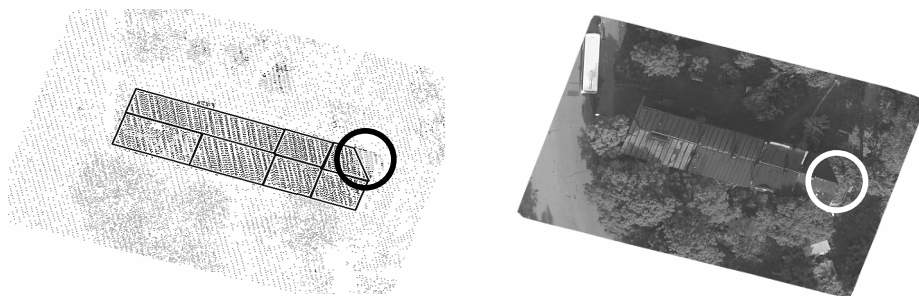
Efekt końcowy prac to „prawdziwa” ortofotomapa, na której nie ma przesunięć dachów, droga jest prosta, a drzewa nie są rozmazane (Rys. 4). Pokrywa się z wektorową warstwą GIS, a stopień jej automatyzacji jest o wiele większy niż przy zastosowaniu małej gęstości skanowania laserowego.

Tak więc można powiedzieć, że w przypadku budynków o prostej konstrukcji dachu proces generowania *true ortho* z danych laserowych o gęstości rzędu 16 pkt/m² przebiega w dużym stopniu automatycznie.

3.3. Wykorzystanie informacji obrazowych do klasyfikacji punktów laserowych

Zalety gęstości danych LIDAR-owych rzędu 16pkt/m² są istotne w przypadku budynków o skomplikowanych kształtach dachów, jak również w momencie gdy wysokie drzewa zasłaniają obiekty. Dlatego do badań wykorzystano próbkę zawierającą budynek, którego dach był skokowy oraz fragment dachu był zasłonięty przez drzewa.

Najpierw wykonano klasyfikację punktów na wyszczególnione trzy warstwy: *ground*, *high vegetation*, *building*. Jednak zbyt skomplikowana struktura dachu, oraz występowanie wielu drzew wokół budynku powodowało błędne przeklasyfikowanie punktów na odpowiednie warstwy. Właściwie niemożliwe było automatyczne wykrycie budynku z warstwy *high vegetation*, dlatego w celu wybrania punktów należących tylko do budynku posłużono się dodatkowymi informacjami obrazowymi - zdjęciami. Barwy ze zdjęcia pomocne były w rozróżnieniu roślinności od dachu budynku. W wyniku tak przeprowadzonej klasyfikacji punkty zostały podzielone na właściwe warstwy (Rys. 5). Zauważyć można, że niektóre punkty należące do drzew zostały przeklasyfikowane na warstwę budynku i na odwrót. Jednak była to znikoma ilość punktów, która nie zaburzała dalszych procesów badań. Ze względu na strukturę i budowę dachu, który złożony był z kilku połaci, ekstrakcję krawędzi wykonano wykorzystując narzędzie do wykrywania płaszczyzn. W wyniku tego procesu otrzymano wektory poprawnie określające krawędzie każdej części dachu, z wyjątkiem prawego górnego narożnika, który niefortunnie był porośnięty przez dzikie wino i wymaga ręcznej korekcji (Rys. 5).



Rys. 5. Po lewej: rzut budynku wraz z automatycznie określonymi krawędziami fragmentów dachu. Po prawej: „prawdziwa” ortofotomapa budynku dwuspadowego (ze wskazaniem narożnika wymagającego ręcznej korekcji).

4. WNIOSKI

W przypadku zastosowania danych laserowych o małej gęstości - ok. 1.5 pkt/m², do wytworzenia *true ortho* konieczna jest manualna ekstrakcja krawędzi dachów z punktów LIDAR-owych, choć w oprogramowaniu TerraScan zawiera szereg ułatwień semiautomatycznych (np. praca na punktach laserowych z możliwością podkładu zdjęć), co w porównaniu z tradycyjnymi opracowaniami fotogrametrycznymi zdjęć lotniczych (pomiar stereoskopowy modelu) jest dużym ułatwieniem.

Dla skaningu laserowego o gęstości rzędu 16 pkt/m² do wykonania „prawdziwej” ortofotomapy na której skorygowane jest położenie budynków z korekcją obiektów budowlanych trzeba wykonać filtrację punktów laserowych z rozróżnieniem na punkty terenowe (NMT), natomiast z punktów należących do pokrycia terenu (NMPT) pozostawić jedynie te, które służą do modelowania powierzchni dachów budynków (Model Budynków). Dla budynków o prostej strukturze dachu automatyczny algorytm wykrywania punktów laserowych reprezentujących powierzchnię dachu oraz jego krawędź działa poprawnie, co z kolei wpływa na możliwość automatyzacji wytworzenia *true ortho*. Dla dachów o skomplikowanej budowie, oraz w przypadku występowania drzew wokół budynków same punkty skaningu laserowego nie są wystarczające. Do automatyzacji procesu pomocne są dane w postaci zdjęć barwnych (jeszcze lepiej NIR), wykorzystane do poprawnego wyodrębnienia punktów leżących na dachach budynków z warstwy zawierającej punkty skaningu leżące powyżej terenu.

Podsumowując etapy procesu generowania „prawdziwej” ortofotomapy w oparciu o zdjęcia cyfrowe o standardowym pokryciu wynoszącym około 60%, oraz dane ze skaningu laserowego, można stwierdzić, że dane o gęstości skanowania laserowego rzędu 16pkt/m² dają duże możliwości generowania tego produktu w sposób automatyczny, choć istnieją przypadki budynków, dla których nie obejdzie się bez korekcji manualnej, jeśli bowiem gęsta korona drzewa zakrywa dach, wprowadzić może w błąd nawet najlepsze automatyczne algorytmy.

5. LITERATURA

- Amhar F., Jansa J. and C. Ries C., 1998. The Generation of True Orthophotos Using a 3D Building Model in Conjunction With a Conventional DTM. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol 32(4), s.16–22.
- Axelsson P., 1999. Processing of Laser Scanner Data – Algorithms and Applications. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 54, Issues 2-3, s 138-147.
- Bignone F., 2003: Processing of stereoscanner: from stereoplotter to pixel factory, *ISTAR Photogrammetrische Woche 2003*: www.ifp.uni-stuttgart.de/publications
- Braun J., 2003. Aspects on True-Orthophoto Production. *Proceedings of 49th Photogrammetric Week*, s. 205–214.
- Brenner C., 2000: Towards Fully automatic generation of city models. Proc. XIX ISPRS Cong. , *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XXXIII-B3*, 2000, s. 85–92
- Chen L., Teo T., Wen J., Rau J., 2007. Occlusion-compensated true orthorectification for high-resolution satellite images. *The Photogrammetric Record* 22(117), s. 39–52, March 2007

- Ewiak I., Kaczyński R., 2006. Alternatywnie dla zdjęć lotniczych źródła danych w procesie generowania true ortho, Ogólnopolskie Sympozjum Naukowe „Opracowania cyfrowe w Fotogrametrii, Teledetekcji i GIS” Stare Jabłonki k/Ostródy, 12 – 14 października 2006 r.
- Gülch, E., Müller, H. and Läbe, T., 1999. Integration of Automatic Processes into Semi-Automatic Building Extraction. *IAPRS*, vol. 32, Part3-2W5, s. 177-186
- Haala N., and Brenner C., 1999. Virtual City Models from Laser Altimeter and 2D Map Data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* vol. 65, 7, s. 787-795.
- Lohr U., 2003: Precise LIDAR DEM and True Ortho. Map Asia Conference 2003, TopoSys GmbH: www.toposys.com
- Schwalbe E., 2004: „3D building model generation from airborne laserscanner data by straight line detection in specific orthogonal projections”, *ISPRS, Commission 3*, 2004
- TerraSolid. 2001: Tutorial TerraScan, TerraPhoto, TerraModel: <http://www.terrasolid.fi>
- Zebedin L., Klaus A., Gruber-Geymayer B., Karner K., 2006. Towards 3D map generation from digital aerial images, *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* 60, s. 413–427

Opracowano w ramach badań własnych pt. *Problematyka generowania „prawdziwej” ortofotomapy (tzw. true ortho)*. Barbara Zabrzaska-Gąsiorek

DETERMINATION OF AIRBORNE LASER SCANNER DATA RANGE IN PROCESS OF TRUE ORTHOPHOTO GENERATION

KEY WORDS: ortorectification, true ortho, laser scanning, Digital Surface Mode, Building Model.

SUMMARY: Generation of a true ortho is getting increasing popularity. To date, that product has been reserved mainly for airborne images. Nowadays, it is taken into account even for high resolution satellite images. True ortho is most important for cities with high buildings. When conventional orthoimages are generated, the relief displacement of the objects above the surface, such as buildings, trees are not considered. This means that some of the ground coverage may be hidden by objects. Conventional orthoimage lose accuracy.

The development of true ortho seems to result from the automation of processing methods, which have so far been manual and costly. This becomes possible thanks to the improvement in the accuracy of Digital Surface Model acquisition with laser scanning or matching images.

This paper describes some examples of high technology of true ortho generation. It attempts to solve the problem of the influence of laser scanner data density on the true ortho quality and production automation.

Mgr inż. Barbara Zabrzaska-Gąsiorek
e-mail: basiafit@agh.edu.pl
tel: 0126172272

Mgr inż. Natalia Borowiec
e-mail: nboro@agh.edu.pl
tel: 0126174485