

Natalia Borowiec*, Barbara Zabrzaska-Gąsiorek*

ORTOFOTOMAPA W TERENACH MIEJSKICH**

1. Wstęp

Ortofotomapa jest ważnym składnikiem bazy danych GIS. Stanowi warstwę, która jest kartometryczna jak każda mapa, posiadając równocześnie walory zdjęcia. *A picture is worth a thousand words* („Obraz jest wart tysiąca słów”) – powiedzenie to być może wyjaśnia, dlaczego warto posługiwać się ortofotomapą w szerokim wachlarzu dziedzin, od geodezji i kartografii, przez planowanie przestrzenne, monitoring środowiska, aż po np. turystykę i rekreację.

Obecnie daje się zauważyć tendencja (w oczywisty sposób podyktowana rozwojem technologii pozyskiwania i przetwarzania danych) wzrostu rozdzielczości zobrazowań teledetekcyjnych, co musi iść w parze z większym zapotrzebowaniem na wysokiej jakości ortofotomapę. Tradycyjna ortorektyfikacja oparta na modelu terenu może nie sprostać tym wymaganiom, szczególnie w wypadku opracowań wielkoskalowych terenów zurbanizowanych. Ograniczenia dokładnościowe spowodowane są m.in. przesunięciami radialnymi elementów wystających ponad teren, wynikającymi z rzutu środkowego. Wymaganiom tym wychodzi naprzeciw produkt zwany „prawdziwą” lub „wierną” (ang. *true*) ortofotomapą. Posiada skorygowane w stosunku do przyziemia położenie pikseli takich obiektów, jak dachy budynków czy mosty. Taka korekcja otwiera także furtkę coraz bardziej popularnym trójwymiarowym prezentacjom modeli miast.

Niniejszy artykuł zawiera krótkie omówienie problematyki generowania prawdziwej ortofotomapy w kontekście wykorzystania modelu pokrycia terenu oraz modelu budyn-

* Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, Zakład Fotogrametrii i Informatyki Teledetekcyjnej

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

ków 3D, a także przedstawia praktyczne problemy realizacji prawdziwej ortofotomapy z wykorzystaniem danych z lotniczego skanowania laserowego i równocześnie pozyskanych zdjęć cyfrowych.

2. Prawdziwa ortofotomapa a model pokrycia terenu

W przypadku generowania ortofotografii terenów miejskich, szczególnie na wielkoskalowych zobrazowań, tradycyjna ortorektyfikacja oparta na numerycznym modelu terenu wnosi do produktu końcowego – ortofotomapy – odstępstwa od rzutu ortogonalnego, które często zrażają potencjalnego odbiorcę. Spowodowane są zniekształceniem perspektywicznym elementów wyższych niż przyjęta w procesie ortorektyfikacji wysokość punktów. W związku z tym obiekty takie, jak budynki, mosty, drzewa, są przesunięte radialnie i często zasłaniają inne ważne obiekty, takie jak drogi, chodniki, elementy infrastruktury. Czytelność takiej ortofotomapy, szczególnie jako warstwy w geograficznych systemach informacyjnych, ulega zmniejszeniu, ponieważ widoczne na niej dachy nie „zgadzają” się z mapą wektorową (rys. 1).



Rys. 1. Wektorowa nakładka nie „pasuje” do zarysu budowli, dach jest przesunięty radialnie w stosunku do podstawy budynku
Źródło: [8]

Jeżeli chcemy, aby wszystkie elementy były odwzorowane na ortofotomapie w poprawnym rzucie ortogonalnym, niezniekształcone perspektywicznie, musimy wyprodukować „prawdziwą” ortofotomapę, która będzie pasować do wektorowej warstwy GIS (rys. 2).



Rys. 2. Brak przesunięcia radialnego na prawdziwej ortofotomapie powoduje, że zarys dachu budowli „zgadza” się z nałożoną mapą wektorową

Źródło: [8]

W procesie ortorektyfikacji prowadzącym do uzyskania prawdziwej ortofotomapy zastosować należy dodatkowe, w porównaniu z tradycyjną ortorektyfikacją, warunki. Metodyka postępowania zależy od rodzaju pozyskanych danych, narzędzi, którymi dysponujemy, i jakości produktu końcowego, którą pragniemy uzyskać.

Ponieważ przesunięcia radialne obiektów „wystających” ponad teren zależą od odległości od punktu nadirowego, wysokości samego obiektu i wysokości lotu, najprościej i najtaniej byłoby je zredukować na etapie projektowania lotu poprzez:

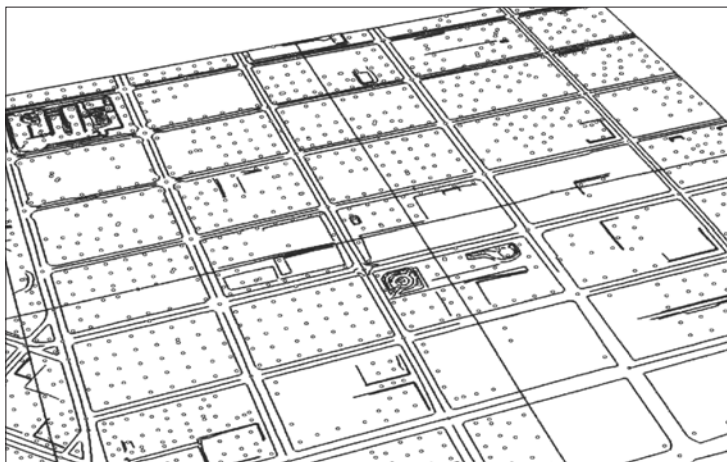
- wykonanie lotu z większej wysokości,
- zastosowanie stożka kamery o dłuższej ogniskowej,
- zwiększenie pokrycia podłużnego i poprzecznego i do opracowania stosowanie tylko centralnych fragmentów zdjęć.

Gdy zastosowanie powyższych warunków nie wystarcza, a jest tak zwłaszcza w wypadku aplikacji wielkoskalowych, należy do procesu różniczkowego przetwarzania zdjęć wykorzystać dane NMPT – numerycznego modelu pokrycia terenu (ang. DSM – *Digital Surface Model*), w odróżnieniu od tradycyjnej ortorektyfikacji, którą wykonuje się na podstawie NMT – numerycznego modelu terenu (ang. DTM – *Digital Terrain Model*).

Dlatego też do produkcji prawdziwej ortofotomapy będą potrzebne dwa zbiory danych:

- 1) Obrazy cyfrowe ze znanymi elementami orientacji wewnętrznej i zewnętrznej (wyznaczone z aerotriangulacji lub bezpośrednio metodami GPS/INS) o odpowiednim pokryciu gwarantującym kompletne pokrycie obszaru.
- 2) Zbiór danych opisujący model pokrycia terenu. Dane te w różnych aplikacjach mogą mieć różne postaci:

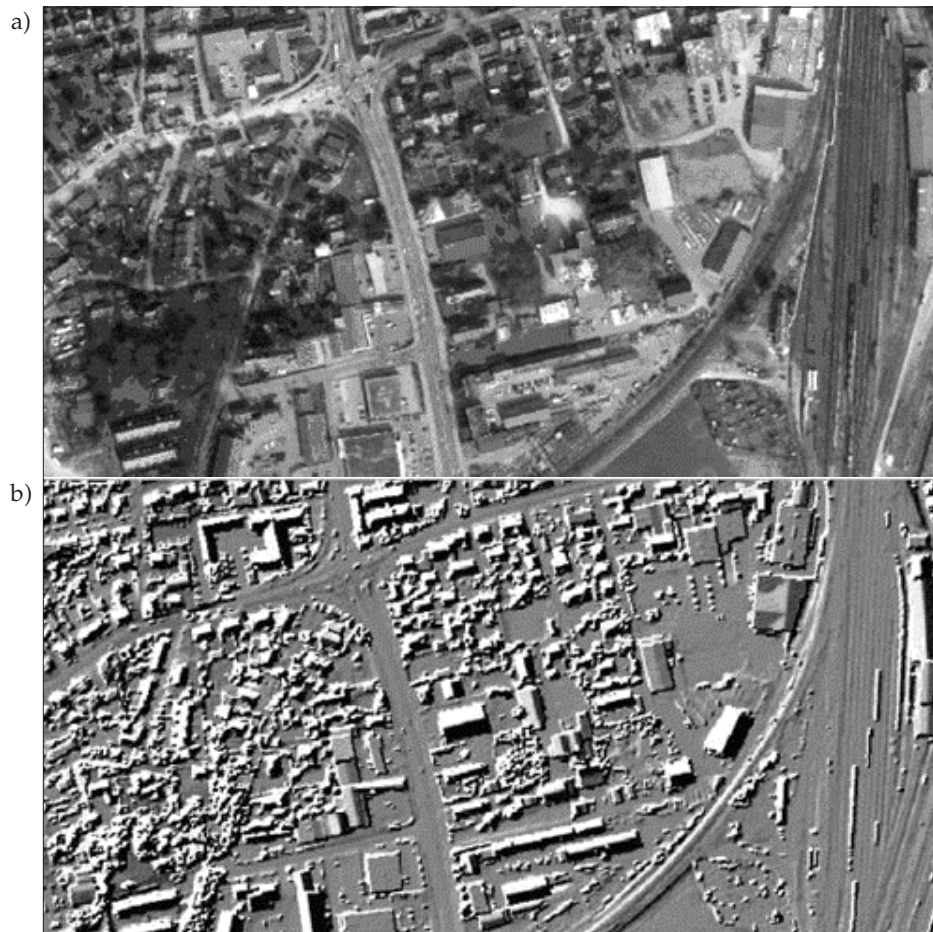
- Tradycyjny DTM uzupełniony liniami nieciągłości (ang. *masspoints, breaklines*) (rys. 3) [5]. W praktyce linię nieciągłości tworzy każdy budynek, stąd konieczność digitalizacji każdego domu wraz z dachem lub zgromadzenia bazy danych składającej się z NMT oraz NMB – numerycznego modelu budynków (ang. DBM – *Digital Building Model*). Dla tych postaci danych korygowane są jedynie te obiekty, dla których zgromadzono informację 3D, tj. budynki, mosty itp.



Rys. 3. NMT uzupełniony liniami nieciągłości

Źródło: [5]

- Gęsty NMPT (ang. DDSM – *Dense Digital Surface Model*). Podczas ortorektyfikacji korygowane jest położenie każdego piksela w oparciu o znaną z modelu wysokość. Wykorzystanie narzędzi do pozyskania gęstego NMPT-u, takich jak LIDAR, daje możliwość automatycznego generowania prawdziwej ortofotomapy pod warunkiem, że skale (rozdzielczości) zdjęcia i danych laserowych współgrają ze sobą [7]. To dlatego niektóre firmy szczytą się pełną automatyką w generowaniu prawdziwej ortofotomapy. Taką prawdziwą ortofotomapę wykonaną na podstawie NMPT-u pokazano na rysunku 4. Została wyprodukowana ze zdjęć o wymiarze piksela 0,5 m, a NMPT uzyskano na podstawie LIDAR-a o gęstości 3 punkty/m². Można zatem przyjąć, że każdy piksel obrazu posiada swój odpowiednik w postaci wysokościowej współrzędnej ze skanowania laserowego. W zastosowaniach wielkoskalowych trudno jednak o model terenu prawie tak gęsty, jak wymiar pojedynczego piksela obrazu, dlatego bardzo często trzeba ratować się wymienionymi wcześniej liniami nieciągłości lub tzw. modelem budynków, który lepiej lub gorzej przekłada skomplikowaną rzeczywistość na formę bardziej uproszczoną. Stopień uproszczenia modelu zależy od założonego poziomu szczegółów (ang. LoD – *Level of Detail*).



Rys. 4. Prawdziwa ortofotomapa (a) oraz gęsty NMPT (b)
o podobnej rozdzielczości wykorzystany w jej wytworzeniu
Źródło: [6]

3. Modelowanie obiektów 3D

Wiele ośrodków badawczych na świecie poszukuje uproszczenia metod manualnych oraz metod semiautomatycznych lub automatycznych generacji modelu budynków, który jest potrzebny dla wielkoskalowych rozwiązań tworzenia prawdziwej ortofotomapy. Model budynków jest oczywiście wykorzystywany w innych aplikacjach i z reguły nie tworzy się go jedynie dla prawdziwej ortofotomapy, zawierającej informacje płaskie. Ekspansja modelu 3D do różnych dziedzin wzrasta, popularność zyskują trójwymiarowe widoki perspektywiczne, 3D GIS, *Virtual Reality*, itp.

W generowaniu modeli 3D coraz lepsze wyniki dają dziś systemy semiautomatyczne i automatyczne, choć bardzo często firmy polegają na czasochłonnym manualnym pomiarach (np. stereodigitalizacja), nawet gdy mierzone modele nie muszą być szczegółowe [4].

Automatyczne systemy wykorzystujące zdjęcia lotnicze dają obiecujące rezultaty. Często jednak w opracowaniach pod uwagę brane są dane konkretne dla danego przypadku, niemożliwe do zastosowania wszędzie, jak na przykład wysoka rozdzielczość, duże pokrycie, zdjęcia wielospektralne. Dodatkowo zastosowanie DSM prowadzi do bardziej stabilnej detekcji budynków, a mankament w postaci przesłonięcia obiektów przez roślinność może być zminimalizowany dzięki użyciu wielokanałowej klasyfikacji z danymi *Color-Infrared* (CIR) oraz danymi DSM. Metoda na ogół jest wymuszona przez dostępne dane. Wielu autorów przyznaje się, że ich metoda nie sprawdza się w gęsto zabudowanym terenie. Dlatego całkowicie automatyczne systemy pracujące z wykorzystaniem zdjęć lotniczych często nie wystarczają w praktyce, pomimo postępu w tej dziedzinie. Badania koncentrują się na rozwijaniu systemów semiautomatycznych.

Automatyczne systemy pracujące na bazie pozyskanego skanowaniem laserowym NMPT mają wielką zaletę, gdyż można bezpośrednio uzyskać reprezentację geometrii 3D obiektów. W przypadku gdy dostępny NMPT jest dość gęsty, możliwe stają się do wyliczenia parametry struktur płaszczyzn dachów, chociaż dokładność może być generalnie niższa w porównaniu z pomiarami uzyskanymi ze zdjęć lotniczych. Jedną z największych wad tego rodzaju przedsięwzięcia jest zwykle niska gęstość NMPT. Prowadzi to do dalszego obniżenia dokładności określenia położenia dachów i ścian budynków. Poprawić rezultaty może wysokiej rozdzielczości DSM.

Kombinacja NMPT z istniejącymi mapami terenu 2D (które dla obszarów miejskich są z reguły wykonywane) dla w pełni automatycznej rekonstrukcji budynków daje dobre wyniki, nawet w terenach o gęstej zabudowie. Mapy terenu są wprowadzane automatycznie do procesu rekonstrukcji. Wszystko działa poprawnie aż do czasu, gdy natrafimy na budynek o bardziej skomplikowanej konstrukcji. Wtedy relacja między mapą terenu a dachem nie jest taka prosta, w związku z tym bardzo często pojawiają się błędy.

4. Praktyczne problemy generowania prawdziwej ortofotomapy

Dalsza część artykułu przybliży problemy, które pojawiły się przy próbach tworzenia prawdziwej ortofotomapy na podstawie zdjęć wykonanych kamerą cyfrową oraz NMPT powstałego z chmury punktów pochodzących ze skaningu laserowego. Badania przeprowadzono na fragmencie danych, które były częścią projektu wykonanego dla Krakowa. Projekt obejmował wykonanie zdjęć cyfrowych i zeskanowanie terenu południowo-zachodniej części Krakowa.

Całość opracowania wykonano, posługując się narzędziami pakietu programów Terra-Solid, które pracują jako aplikacje MDL pod MicroStation (TerraScan, TerraPhoto, Terra-Model) i służą do opracowania danych ze skaningu laserowego wraz ze zdjęciami.

Ogromną zaletą altymetrii laserowej jest połączenie lotniczego skanera laserowego z cyfrową kamerą pomiarową. Dzięki temu system pozwala na uzyskanie w tym samym

czasie zdjęć cyfrowych oraz danych wysokościowych w postaci chmury punktów. Mając punkty laserowe, można w szybki sposób uzyskać wysokiej dokładności numeryczny model terenu, jak również numeryczny model pokrycia terenu (w skład którego wchodzi budynki, drzewa, słupy i inne elementy wystające ponad powierzchnię terenu).

Korzystając z pozyskanych danych sytuacyjnych i wysokościowych, można przeprowadzić proces ortorektyfikacji, polegający na przetworzeniu pikseli obrazu źródłowego w celu usunięcia zniekształceń spowodowanych różnicami wysokości powierzchni terenu oraz nachyleniem zdjęcia

Warto zauważyć, że przy skanowaniu terenu uzyskujemy bardzo korzystny model bez efektu „zacienienia” wzdłuż kierunku lotu. Natomiast efekt zacienienia występujący prostopadłe do kierunku lotu jest marginalny i jest wyrównywany przez sąsiedni pas lotu. Jest to szczególnie istotne dla pozyskiwania modelu powierzchni terenu obszarów miejskich o zabudowie wielokondygnacyjnej, bowiem uzyskujemy dane wysokościowe ze znikomą ilością „matrych” pól – niekorzystnych luk w danych.

W przypadku generowania tradycyjnej ortofotomapy opartej na NMT połączenie danych pochodzących z lotniczego skaningu z obrazami jest korzystnym rozwiązaniem. Obrazy cyfrowe wykonane równocześnie ze skanowaniem laserowym są w dużej skali, pokrycie około 60% jest wystarczające, a otrzymany NMT ma wysoką dokładność. Problemy tradycyjnej ortorektyfikacji zwiększają się jednak znacznie, gdy mamy do czynienia z terenem zabudowanym, zwłaszcza w wypadku opracowań wielkoskalowych.

Przykład tradycyjnej ortorektyfikacji opartej na NMT przedstawiony został na rysunku 5.



Rys. 5. Fragment ortofotomapy otrzymany na podstawie NMT. Dach budynku jest przesunięty w stosunku do faktycznego położenia. Widoczne są także uskoki dachu spowodowane automatycznym mozaikowaniem

Na tym fragmencie ortofotomapy (rys. 5) widać przesunięcie radialne dachu budynku w stosunku do podstawy charakterystyczne dla tradycyjnej ortorektyfikacji. Podczas tego procesu pojawić się mogą również rażące błędy spowodowane automatycznym mozaikowaniem, w którym linia szwu przebiega przez budynek. Wówczas jest on nienaturalnie podzielony na fragmenty pochodzące z różnych środków rzutów. Można byłoby tego uniknąć, jeśli wykorzystano by w dalszych pracach np. znany z geograficznych systemów informacyjnych problem znajdowania obszarów najlepszych dla określonego warunku, w tym przypadku przejścia linii szwu przez różne obszary, z wyłączeniem budynków. Tego rodzaju analizy wymagają jednak poszerzenia zastawu danych głównie o wyniki klasyfikacji uwzględniającej rodzaje użytkowania terenu obszaru miejskiego.

Dla porównania, na tym samym obszarze co na rysunku 5 do ortorektyfikacji wykorzystano numeryczny model pokrycia terenu, zbudowany z „chmury” laserowych punktów (rys. 6). Jeśli wykorzystamy właśnie NMPT, czyli naszym celem będzie nie tradycyjna, ale prawdziwa ortofotomapa, uwalniamy się od problemu przesunięć radialnych dachów budynków, ale pojawiają się za to inne problemy, związane głównie z małą gęstością punktów skanowania, która wynosi w tym projekcie średnio 1 punkt na m^2 (ideałem byłoby, gdyby była taka jak gęstość pikseli obrazu, co w przypadku zobrazowań wielkoskalowych jest bardzo trudne do zrealizowania).

Uzyskany efekt ortorektyfikacji przedstawiono na rysunku 6, na którym dają się zauważyć defekty nie do zaakceptowania (pofalowane i rozmazane krawędzie dachu budynku), spowodowane zbyt rzadko rozmieszczonymi danymi laserowymi.

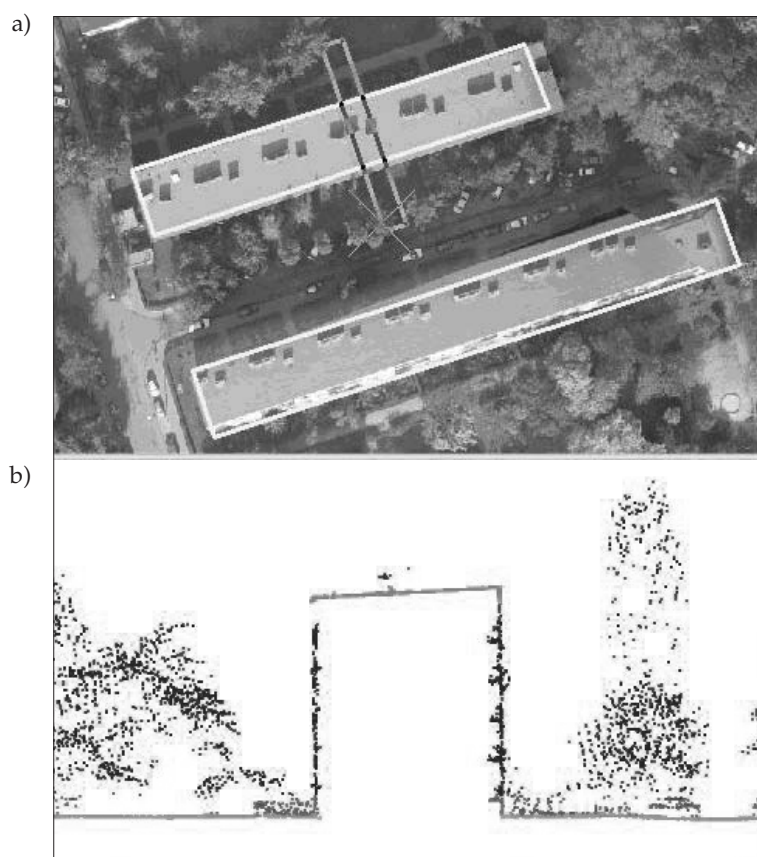


Rys. 6. Fragment ortofotomapy, przy której sporządzaniu do ortorektyfikacji wykorzystano NMPT

Przedstawione powyżej przykłady (rys. 5 i 6) potwierdzają fakt, iż w przypadku generowania wielkoskalowej, prawdziwej ortofotomapy nie obejdzie się bez konieczności dalszego modelowania danych laserowych, którego celem jest uzyskanie dokładnych krawędzi dachów budynków, i modelowania innych obiektów, których położenie chcemy kory-

gować. Najbardziej pożądanym sposobem modelowania obiektów jest sposób automatyczny lub choćby semiautomatyczny.

W oprogramowaniu TerraPhoto, które posłużyło do ortorektyfikacji, istnieje moduł automatycznego wykrywania krawędzi budynku, jednak w tym przypadku jego zastosowanie nie przyniosło dobrego rezultatu. Automatyczna opcja nie do końca wykryła poprawnie krawędzie budynków, co spowodowane było zbyt małą gęstością punktów na badanym obszarze. Dokonano więc korekty manualnej krawędzi rektyfikowanego obiektu (choć można tę metodę nazwać częściowo semiautomatyczną, bowiem zaletą tego programu jest niewątpliwie to, że wektoryzacja przebiega na podkładach pojedynczych zdjęć (bez opcji „stereo”), przy równocześnie wyświetlonych przekrojach przez punkty pochodzących ze skaningu laserowego (rys. 7). W ten sposób od razu widać, w których miejscach brakuje danych i gdzie trzeba dodać krawędzie obiektów oraz czy wektory faktycznie leżą na powierzchni rektyfikowanego obiektu.



Rys. 7. Fragment ortofotomapy z wyświetlonymi wektorami oraz wskazaniem miejsca przekroju (a). Przekrój przez budynek (b)

Kolejny problem powstały przy rektyfikacji ortofotomapy z wykorzystaniem danych o pokryciu terenu dotyczy roślinności, szczególnie wysokich drzew. Rysunek 6 pokazuje, że w niektórych miejscach pojawiają się nienaturalne „rozciągnięcia” koron drzew. Przy gęstości skanowania rzędu 1 punkt na m^2 nie jest możliwa poprawna korekcja przesunięć radialnych koron drzew. Jest to osobny problem badawczy, prace nad modelem drzew postępują (przykładem może być opracowanie [9]). Dlatego też podczas wykonywania prawdziwej ortofotomapy bez uwzględnienia skomplikowanego modelu drzew lepiej jest ograniczyć się do korygowania przesunięć budynków, mostów innych obiektów, które można modelować wektorowo, niż dopuścić do nienaturalnego wyglądu koron drzew.

Stąd wniosek, że do zrobienia prawdziwej ortofotomapy należy wykonać filtrację punktów z rozróżnieniem na punkty terenowe (NMT), natomiast z punktów należących do pokrycia terenu (NMPT) pozostawić jedynie te, które służą do modelowania powierzchni dachów budynków. Automatyczne rozdzielanie roślinności tzw. „wysokiej” od powierzchni dachów budynków z danych skanerowych jest trudne; automatyzacja klasyfikacji mogłaby dać lepsze rezultaty pod warunkiem uwzględnienia dodatkowych informacji, takich jak zdjęcia, tekstury, wyniki klasyfikacji.

Ostatecznie prawdziwa ortofotomapa została wytworzona na podstawie NMT z uwzględnieniem NMPT dla budynków, co było zdeterminowane dokładnością i rozdzielczością posiadanych danych: ze skaningu laserowego oraz kolorowych zobrazowań z kamery cyfrowej. Końcowy efekt ilustruje rysunek 8. Prawdziwa ortofotomapa nie ma przesunięć dachów budynków, pokrywa się więc z wektorową warstwą GIS.



Rys. 8. Fragment „prawdziwej” ortofotomapy

Podsumowując rozważania dotyczące etapów procesu generowania prawdziwej ortofotomapy w oparciu o zdjęcia cyfrowe o standardowym pokryciu (ok. 60%) oraz dane ze skaningu laserowego, trzeba podkreślić, że podczas gdy sam proces ortorektyfikacji jest

automatyczny, to jednak jego warunkiem jest wykonany model budynków, który pozyskiwany jest głównie w sposób manualny. W porównaniu jednak z tradycyjnymi opracowaniami fotogrametrycznymi zdjęć lotniczych (pomiar stereoskopowy modelu) praca z wykorzystaniem danych laserowych oraz zdjęć jest dużym ułatwieniem, choć daleko jej jeszcze do pełnej automatyzacji.

5. Uwagi końcowe

Analizując przeprowadzone badania, można stwierdzić, że w porównaniu z tradycyjną ortorektifikacją opartą na NMT produkcja prawdziwej ortofotomapy jest bardziej czasochłonna i wymaga więcej nakładów finansowych. Jak wynika z opinii ekspertów w tej dziedzinie (np. [2]), proces wymaga około dziesięć razy więcej czasu niż sporządzenie zwykłej ortofotomapy. Wykonuje się ją z reguły tylko dla centralnych części miasta lub obszarów o wysokiej zabudowie. Koszty są większe już na etapie pozyskania zdjęć – w tradycyjnym planie lotu standardowe pokrycie podłużne zdjęć wynosi 60%, poprzeczne 30%. W wypadku prawdziwej ortofotomapy, aby uniknąć problemu martwych pól, pokrycie powinno być zwiększone przynajmniej do 60% z każdej strony (konkretna wielkość zależy od przyjętych warunków projektu lotu, a także od specyfiki danej zabudowy miejskiej).

Najbardziej czasochłonnym i kosztownym etapem jest niewątpliwie pozyskanie dokładnego modelu pokrycia terenu, koniecznego do rektyfikacji zdjęć. Ale przecież jest on sam w sobie cennym produktem. Jeśli uzyskamy go automatycznie, do czego należy dążyć, obniżymy znacznie koszty.

Trzeba także dodać, że nową furtkę metodom szybszej i bardziej ekonomicznej generacji takich produktów, jak gęsty DSM czy prawdziwa ortofotomapa, otwiera dzisiaj wykorzystanie kamer cyfrowych, zarówno typu „frame” (np. DMC Z/I Imaging), jak i „bushbrom” (np. ADS 40 Leica, HRSC DLR Institute). Dzięki zastosowaniu kamery cyfrowej (DMC) można bez drastycznego zwiększania kosztów zastosować pokrycie podłużne i poprzeczne rzędu 80% i więcej. Daje to wielkie korzyści zarówno pod względem jakości, jak i kosztów produkcji prawdziwej ortofotomapy. Zwiększone pokrycie sceny dostarcza bowiem widoku każdego punktu obiektu z wielu zdjęć, a co za tym idzie – zwiększa się ilość danych, dzięki czemu uzyskuje się dokładniejsze wyznaczanie współrzędnych punktów. Równocześnie „widzimy” obiekt z wielu środków rzutów, w zasadzie nie ma elementów niewidocznych, zasłoniętych przez budynki. Takie pokrycie sprawia też, że właściwie każdy punkt terenu jest bliski punktowi nadirowemu, ma niewielkie przesunięcie radialne. Sąsiednie zdjęcia niewiele różnią się radiometrycznie, co ma dodatkowe niebagatelne znaczenie przy mozaikowaniu. Kłopotem przy wykorzystaniu kamery cyfrowej DMC może być postprocessing zawierający olbrzymie ilości danych.

Ostatecznie o walorach prawdziwej ortofotomapy mogą świadczyć możliwości jej wykorzystania:

- budowanie jednej z warstw GIS, która może odpowiadać na pytanie do bazy danych o wysokość każdego piksela (nawet dla budynków) w miejscu wskazanym przez kursor;

- źródło danych do automatycznej segmentacji obiektów; dzięki temu, że wykorzystuje się prawdziwą ortofotomapę i NMPT z LIDAR-a, może być ułatwione przeprowadzenie automatycznej ekstrakcji takich obiektów, jak budynki, drzewa itp. (np. w programie eCOGNITION);
- wykorzystanie do renderingu wektorowego modelu 3D miasta; w ten sposób model uzyskuje tzw. „teksturę” na dachach i na terenie; dodatkowo wykonane zdjęcia nachylone lub naziemne mogą pokryć także ściany budynków „teksturą”, co doskonale przybliży model do rzeczywistości; dla tego rodzaju aplikacji wymagana jest dobra rozdzielczość NMPT, która powinna wynosić nawet 0,5 m [7].

Literatura

- [1] Amhar F. et al.: *The Generation of True Orthophotos Using a 3D Building Model in Conjunction With a Conventional DTM*. IAPRS, vol. 32, 1998, 16–22
- [2] Bignone F.: *Processing of stereoscaner: from stereoploter to pixel factory*. ISTAR 2004
- [3] Braun J.: *Aspects on True-Orthophoto Production*. Stuttgart, INPHO GmbH 2003
- [4] Brenner C.: *Towards Fully automatic generation of city models*. 2000
- [5] Haskell L., O'Donnell R.: *Stand Straight Up: A True OrthoPerspective on Downtown Denver Sanborn Colorado*. L.L.C..ArcUser, October-December 2001
- [6] Katzenbeisser R.: *Calibration and data validation of the lidar fiber scanner*. Biberach, INPHO GmbH 2004
- [7] Lohr U.: *Precise LIDAR DEM and True Ortho. Photos*. Toposys, Ravenburg, 2003
- [8] Nielsen M.: *True orthophoto generation*. Informatics and Mathematical Modelling, Technical University of Denmark 2004 (master thesis)
- [9] Sheng Y. et al.: *True Orthoimage Production for Forested Areas from Large-Scale Aerial Photographs*. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 2003
- [10] TerraSolid: *Tutorial TerraScan, TerraPhoto, TerraModel*. 2001