

**BUDOWA MODELU BUDYNKU NA PODSTAWIE DANYCH Z EWIDENCJI
GRUNTÓW I BUDYNKÓW ORAZ Z LOTNICZEGO SKANINGU LASEROWEGO**

**RECONSTRUCTING BUILDING MODEL BASED ON INTEGRATING
LIDAR DATA AND CADASTRAL MAPS**

Natalia Borowiec

Katedra Geoinformacji, Fotogrametrii i Teledetekcji Środowiska,
Wydział Geodezji Górniczej Inżynierii Środowiska, AGH, Kraków

SŁOWA KLUCZOWE: lotniczy skaningu laserowy, rzut budynku, model 3D

STRESZCZENIE: Automatyczna rekonstrukcja trójwymiarowych modeli budynków jest od kilku lat jednym z ważniejszych tematów badawczych na świecie. Obecnie zauważalny jest duży popyt na rekonstruowanie modeli miast 3D, a ich prezentacja i wizualizacja, jest nie tylko przydatna do przeprowadzania fachowych analiz przestrzennych (np. tworzenia map hałasu), ale jest również znakomitą promocją regionu lub miasta poprzez przedstawienie całemu światu interesujących i wartych odwiedzenia zabytków. Wśród światowych metod wykrywania, a następnie budowania modeli 3D budynków użytecznym jest aktywny system pomiarowy, jakim jest lotniczy skaningu laserowy (ang. *ALS – Airborne Laser Scanner*). Jednak identyfikacja budynków tylko na podstawie „chmury punktów” jest zadaniem skomplikowanym i złożonym, dlatego identyfikując punkty warto podierać się dodatkowymi informacjami pochodzącymi z innych źródeł. W niniejszych badaniach zostały wykorzystane mapy ewidencyjne, które to umożliwiły z całego zbioru punktów wybrać te punkty, które zostały odbite od dachów budynków. Wektory pozyskane z ewidencji uznano za krawędzie dachów budynków, które równocześnie zostały wykorzystane jako granice, w oparciu o które wycięto punkty reprezentujące dach. Połączenie dachowe wykryto na podstawie danych lidarowych. Kształt dachu określono w sposób automatyczny wykorzystując w tym celu algorytm dziel - łącz, który to na chmurze punktów rozpościera siatkę przestrzenną złożoną z regularnych prostopadłościanów. Założeniem algorytmu jest przejście od szczegółu do ogółu, dzięki czemu możliwe jest wykrycie elementów dachu o wielkości, które odpowiadają rozmiarom zdefiniowanych na początku pracy algorytmu prostopadłościanom. Proces wyłonienia połączeń dachowych przebiega iteracyjnie w oparciu o parametry opisujące płaszczyzny zbudowane na podstawie punktów. Obrysy podstawy budynków pozyskane z ewidencji podnoszone są na wysokość dachu. Model budynku pozyskany dzięki integracji danych wektorowych z ewidencji budynków oraz danych pochodzących z lotniczego skaningu laserowego osadzony jest na Numerycznym Modelu Terenu.

1. WPROWADZENIE

Obrazowanie świata rzeczywistego w systemach informacji przestrzennej powszechnie nazywane jest akronimem GIS. Dążenie do modelowania rzeczywistości w sposób trójwymiarowy przynosi pierwsze efekty, a dowodem na to są portale internetowe, np. Google Earth, Microsoft Bing Maps, w których można oglądać modele 3D kilkuset miast

na świecie oraz kilku tysięcy obiektów zabytkowych (liczby wzrastają w szybkim tempie). Prezentowane w Internecie modele budynków są opracowywane manualnie, najczęściej na podstawie pomiarów fotogrametrycznych. Takie budowanie modeli 3D jest bardzo pracochłonne, dlatego włącza się do ich tworzenia społeczność internetową, udostępniając bezpłatnie proste aplikacje uruchamiane w przeglądarkach. Ale jest to rozwiązanie wystarczające tylko na potrzeby prezentacji trójwymiarowej, co można określić jako nowoczesną kartografię 3D. Taka atrakcyjna wizualizacja przestrzeni nie spełnia kryteriów GIS, czyli zapisu modelu rzeczywistości w bazie danych. W dalszym ciągu narzędzia GIS, służące szeroko rozumianym potrzebom zarządzaniu przestrzenią, są de facto dwuwymiarowe. Obiekty w GIS są „płaskie” (2D) a informacje wysokościowe, ale dotyczące tylko terenu, są zawarte w osobnej warstwie tematycznej nazywanej Numerycznym Modelem Terenu. Takie modelowanie rzeczywistości, określane jako 2D+1D, nie pozwala lub ogranicza wykonywanie wielu analiz przestrzennych, takich jak architektoniczna i przyrodnicza waloryzacja krajobrazu, modelowanie zagrożenia i ryzyka powodziowego, wsparcie procesów decyzyjnych w sytuacjach kryzysowych, wiarygodne analizy rozchodzenia się hałasu, itp. Wobec przedstawionych faktów potrzeba poszukiwania metod automatyzujących modelowanie 3D, w pierwszej kolejności budynków, jest w pełni uzasadniona. Obecnie do budowy miast 3D można wykorzystać nowe techniki pomiarowe, które przynoszą dobre rezultaty. Jedną z takich technik pozyskiwania danych 3D, która znakomicie wpisuje się w tendencje rozwoju GIS w kierunku tzw. 3D GIS, jest skaning laserowy.

Lotniczy skaning laserowy dostarcza nam dane, które w sposób szczegółowy opisują powierzchnię obiektów znajdujących się na terenie, jak również sam teren. Obecnie z pułapu samolotu można uzyskać rozdzielczość pozyskanych danych od 1 do 10 punktów na m², natomiast z helikoptera ta dokładność może być znacznie wyższa i wynosić nawet 40 punktów na m². Taki zbiór danych umożliwia pozyskanie informacji 3D na temat obiektów, które wykorzystywane są do określenia i weryfikacji w sposób automatyczny zachodzących zmian przestrzennych. Jednak wygenerowanie modelu budynku tylko i wyłącznie w oparciu o dane lidarowe jest procesem dość skomplikowanym. Jednym z najtrudniejszych etapów jest określenie krawędzi dachu budynku. Dlatego w opisywanych w literaturze światowej algorytmach do automatycznego modelowania budynków, często pomiar i rekonstrukcja obiektów jest uzupełniana informacjami pozyskanymi z różnych źródeł. Najczęściej jest to połączenie zdjęć z chmurą punktów. Jednakże istotną rolę odgrywają także dane (np. przyziemia budynków, wysokości budynków obliczone na podstawie liczby kondygnacji) pozyskane z innych źródeł takich jak miejskie bazy danych, czy też mapy katastralne.

2. MODELOWANIE BUDYNKÓW DLA POTRZEB SYSTEMÓW INFORMACJI PRZESTRZENNEJ

Modelowanie obiektów (budynków) rzeczywistych obejmuje pozyskanie informacji na temat budynku, a następnie poprzez odpowiednie przetworzenie danych, zaprezentowanie obiektu w formie szkieletu lub bryły.

Wymagania dotyczące szczegółowości i dokładności rekonstrukcji przestrzennych modeli budynków są uzależnione od celów, jakim mają służyć. Standardy dla modelowania 3D budynków nie są jednak jeszcze odpowiednio opracowane. Jednak w 2002 roku podjęto próbę standaryzacji danych zapisano w CityGML. W pracach zakończonych w 2008

określono obowiązujące standardy budowania miast 3D (Meng *et al.*, 2006), które obejmują 5 poziomów szczegółowości LoD (ang. *LoD - Level of Detail*). Najmniej dokładny jest poziom LoD0, który odwzorowuje duże obszary, natomiast największą dokładnością wykazuje się poziom szczegółowości LoD4, gdzie oprócz szczegółów zewnętrznych, opisane są elementy wewnętrzne budynku. Najbardziej optymalnym poziomem szczegółowości budynków, dla potrzeb przeprowadzania analiz przestrzennych, jest poziom LoD2, który ma dokładność sytuacyjną równą 2m, a dokładność wysokościową 1m. Taka dokładność jest również wymagana do wykonania tzw. „prawdziwej” ortofotomapy (ang. *true orthophotomap*) dla terenów miejskich.

Rekonstrukcja budynków w oparciu o dane lidarowe wymaga wstępnego przetworzenia chmury punktów, które składa się z następujących etapów: analiza dokładności, kompletności i gęstości skanów, wyrównanie skanów oraz wstępna obróbka wykluczająca przypadkowo zarejestrowane punkty tzn. takie których wysokość znacznie różni się od pozostałych punktów. Do tego momentu wszystkie podejścia przebiegają tak samo, a często do opracowań dostępna jest już spójna chmura punktów bez potrzeby łączenia skanów. Kolejne kroki prowadzące do uzyskania modelu budynku uzależnione są od podejścia i dostępnych danych, gdzie podstawowe etapy działań to: detekcja, ekstrakcja i rekonstrukcja.

Przez budynków na podstawie danych ALS rozumie się identyfikację punktów, które reprezentują odbicie impulsu od dachów budynków. Ekstrakcja to określenie obrysów (wskazanie krawędzi) budynków lub ich zwartych kompleksów, ale bez szczegółowej informacji dotyczącej atrybutów budynków [Cho i in., 2004]. Uzyskanie informacji na temat parametrów budynku tj. kształt, wysokość, szerokość i długość pozwoli na rekonstrukcję budynku, inaczej zbudowanie modelu budynku lub modelowanie. Warto zaznaczyć, że dosyć często ciężko jest wskazać wyraźną granice pomiędzy kolejnymi etapami przetwarzania danych.

Terminologia jednak nie jest ustabilizowana, niektórzy autorzy w pojęciu ekstrakcja zawierają także modelowanie budynków, niektórzy zaś uznają, że samo wskazanie punktów należących do budynków jest już modelowaniem.

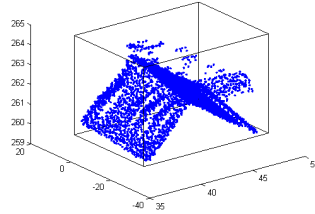
W niniejszym artykule skupiono się na modelowaniu dachów zbioru budynków, w oparciu o dane lidarowe, natomiast krawędzie budynków pozyskano z ewidencji budynków.

3. OKREŚLENIE KSZTAŁTU DACHU METODĄ DZIEL – ŁĄCZ

Rekonstrukcja modelu budynku polega na matematycznym opisie kształtu dachu oraz ścian zewnętrznych budynku. Metoda, jaką zastosowano do wykrycia płaszczyzn dachu, na podstawie chmury punktów, opiera się na zasadzie dziel – łącz (ang. *split – merge*). Inaczej mówiąc szukanie płaszczyzn dachu budynku odbywa się na zasadzie przejścia od szczegółu do ogółu.

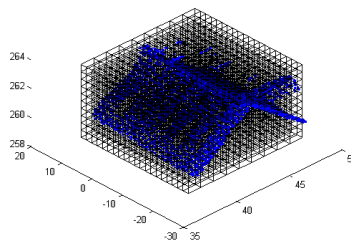
3.1. Opisanie prostopadłościanu na chmurze punktów i jego podział

Na chmurze punktów reprezentującej dach budynku opisywany jest prostopadłościan. Wymiary prostopadłościanu definiowane są na podstawie współrzędnych punktów najdalej wysuniętych w trzech kierunkach układu (Borowiec, 2009). Długość podstawy prostopadłościanu odpowiada długości obliczonej wzdłuż osi X, szerokość podstawy odpowiada długości po Y, a wysokość prostopadłościanu długości wzdłuż osi Z (rys. 1).



Rys. 1. Prostopadłościan opisany na chmurze punktów reprezentującej dach przykładowego budynku

Prostopadłościan opisany na chmurze punktów dzielony jest na mniejsze, o jednakowych wymiarach woksele. Dobór wielkości mniejszych prostopadłościanów uzależniony jest od wymiarów ścian prostopadłościanu początkowego. Analiza długości, szerokości i wysokości krawędzi prostopadłościanu początkowego umożliwia proporcjonalny podział bryły. Proporcje zachowane są we wszystkich trzech kierunkach. W efekcie otrzymujemy początkowy prostopadłościan opisany na chmurze punktów oraz zbiór *mniejszych* prostopadłościanów o jednakowych wymiarach (rys. 2), które będą określane jako elementarne lub woksele (trójwymiarowa regularna tablica).



Rys. 2. Chmura punktów reprezentująca dach budynku podzielona elementarnymi prostopadłościanami

3.2. Aproksymacja płaszczyzn

W pierwszej fazie wykrywania płaszczyzn, każdy elementarny prostopadłościan analizowany jest osobno. W każdym prostopadłościanie zliczana jest ilość punktów, jeżeli liczba punktów jest mniejsza niż trzy, to komórka jest pomijana. W przypadku, gdy liczba punktów w prostopadłościanie jest większa niż trzy aproksymowana jest płaszczyzna. Podczas aproksymacji płaszczyzny na podstawie punktów, których liczba jest większa od trzech otrzymujemy obserwacje nadliczbowe, a wartości parametrów płaszczyzny wyznaczone są z wyrównania metodą najmniejszych kwadratów. Metoda ta minimalizuje sumę kwadratu odległości poszczególnych punktów do wpasowywanej płaszczyzny (Borowiec, 2009).

Na podstawie obliczonych parametrów płaszczyzn można określić własności każdej elementarnej płaszczyzny tj. spadek, azymut oraz średnią wysokość punktów, w oparciu o które zbudowano płaszczyznę.

3.3. Etapowe wyznaczenie połączeń dachowych

Wyznaczenie płaszczyzn głównych dachu możliwe jest dzięki przeprowadzeniu segmentacji prostopadłościaków, która polega na scaleniu komórek w większe skupiska. Proces łączenia polega na szukaniu podobieństw wśród wyaprosymowanych płaszczyzn. W procesie tym, najpierw wybierane są prostopadłościaki centralne, czyli takie, które mogą mieć 26 sąsiadów (wspólny wierzchołek, krawędź lub płaszczyznę) (Borowiec, 2009).

Centralny woksel stanowi ognisko skupiska, które rozrasta się w wyniku dołączania sąsiednich komórek. Łączenie punktów odbywa się wówczas, gdy spełnione są określone kryteria graniczne parametrów płaszczyzn tj. wektor normalny, nachylenie i wysokość. Jeżeli wartości płaszczyzn w sąsiednich elementarnych prostopadłościakach spełniają określone warunki punkty tych wokseli są łączone w jeden zbiór, a następnie aproksymowana jest ponownie płaszczyzna. Proces łączenia przebiega iteracyjnie, aż do momentu wyłonienia płaszczyzn głównych.

Płaszczyzny, które nie zostały połączone w pierwszym etapie, są powtórnie analizowane. Ponowna weryfikacja ich parametrów pozwala na wyłonienie ewentualnie występujących płaszczyzn bocznych np. lukarn, okapów.

3.4. Wyznaczenie prostych opisujących dach oraz generowanie modelu budynku

Współrzędne punktów charakterystycznych obiektu umożliwią określenie wielościennego modelu budynku. Matematyczny opis modelu budynku wymaga wyznaczenia współrzędnych naroży oraz równań prostych (krawędzi) opisujących poszczególne płaszczyzny dachu budynku. Kolejne równania prostych sukcesywnie są pozyskiwane w poszczególnych etapach. Obrys zewnętrzny budynku opisują krawędzie pozyskane z ewidencji. Proste w miejscu przecięcia się dwóch płaszczyzn to:

- kalenica, czyli górna krawędź połączenia dachowej,
- naroże, czyli krawędź wypukła na przecięciu dwóch połączeń, też zwana kalenicą narożną,
- kosz, czyli krawędź wklęsła na przecięciu dwóch połączeń (linia koszowa),
- grzbiet dachu, czyli krawędź lukarn.

Znajomość współrzędnych punktów najdalej wysuniętych, odbitych od płaszczyzn lukarn pozwoliły na określenie krawędzi płaszczyzn bocznych. Miejsca przecięcia się poszczególnych prostych i płaszczyzn wyznaczyły współrzędne punktów charakterystycznych dachu budynku. Krawędzie dachu zostały podniesione na wysokość równą punktowi o najmniejszej wysokości, natomiast kalenicy przypisywana jest wysokość równą punktowi o największej wartości Z . Wszystkie współrzędne zapisywane są w odpowiednich tablicach.

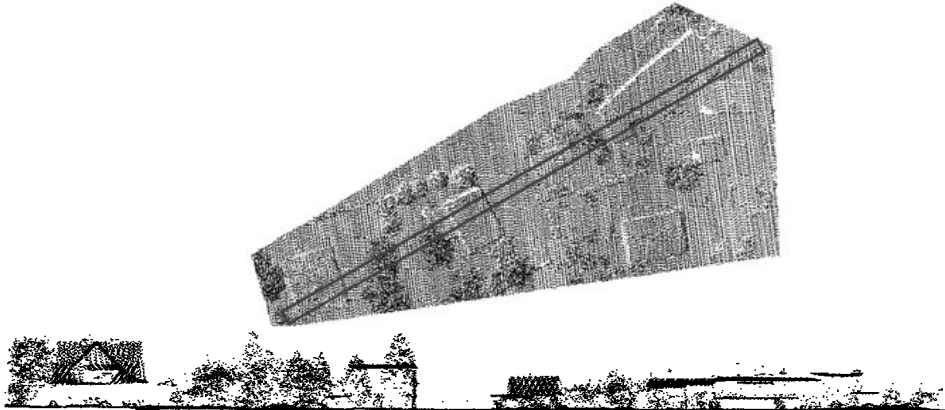
4. OBSZAR TESTOWY I DANE ŹRÓDŁOWE

W badaniach podparto się danymi pochodzącymi z dwóch różnych źródeł.

Pierwszy zestaw danych to chmura punktów. Dane te zostały udostępnione przez Biuro Planowania Przestrzennego Urzędu Miasta Krakowa. Pomiar lidarowy obejmował obszar miasta Krakowa oraz jego okolice w sumie około 400 km². Nalot został wykonany w 2006 roku, gdzie wykorzystano śmigłowiec z systemem pomiarowym Fli-Map 400, średnia wysokość trajektorii lotu wynosiła 350 m. Gęstość punktów jest zmienna i waha się

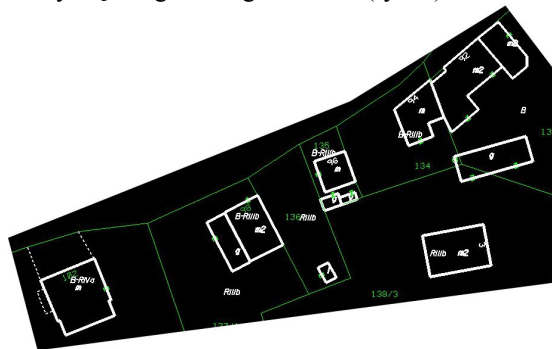
w przedziale od 11 do 30 punktów na m². Pozyskane dane otrzymano w formacie ASCII. Pliki tekstowe zawierają, zapisane w wierszach, współrzędne punktów (kolejno: X, Y, Z).

Z całego zbioru danych wybrano obszar o powierzchni 6268m² i obwodzie równym 358,1m. Ilość punktów wynosi 82 054. Obszar charakteryzował się budynkami o zróżnicowanym kształcie dachu. Od dachów płaskich, poprzez dwuspadowe do dachów skomplikowanych z lukarnami i okapami (rys. 3).



Rys. 3. U góry: rzut na płaszczyznę XY analizowanej chmury punktów, na dole: przekrój podłużny przez chmurę punktów

Analizowany obszar zawiera 9 budynków, gdzie 5 budynków ma płaskie dachy nachylone pod różnym kątem i w różnych kierunkach, z czego tylko rzut dwóch budynków jest w kształcie prostokąta, dwa budynki mają dach dwuspadowy, a jeden o nieregularnym kształcie. Drugi zestaw danych to mapa wektorowa w skali 1:500 reprezentująca ewidencję gruntów i budynków dotycząca tego samego obszaru (rys. 4).



Rys. 4. Mapa ewidencyjna analizowanego rejonu

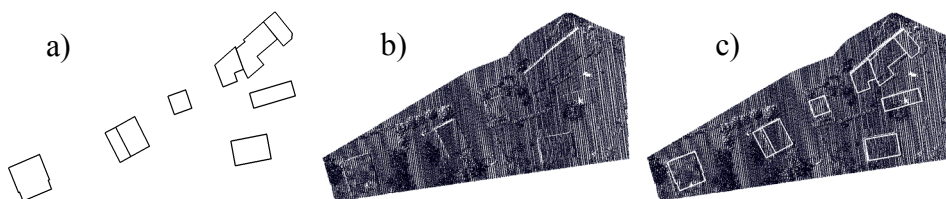
5. BUDOWA MODELI BUDYNKÓW

W przeprowadzonych badaniach można wyróżnić trzy zasadnicze etapy. Pierwszy etap to zintegrowanie danych z ewidencji i chmurę punktów pochodzących ze skaningu

lotniczego, drugi to wykrycie połączeń dachowych poszczególnych budynków oraz weryfikacja wyników uzyskanych w dwóch niezależnych pomiarach.

5.1. Integracja danych

Pierwszym etapem badań była integracja danych pochodzących z dwóch różnych źródeł. Z ewidencyjnej mapy wektorowej pozyskano obrysy przyziemi budynków (rys. 5a), a następnie na te wektory została nałożona chmura punktów (rys. 5c). Oba zestawy danych są w krakowskim układzie współrzędnych prostokątnych płaskich.



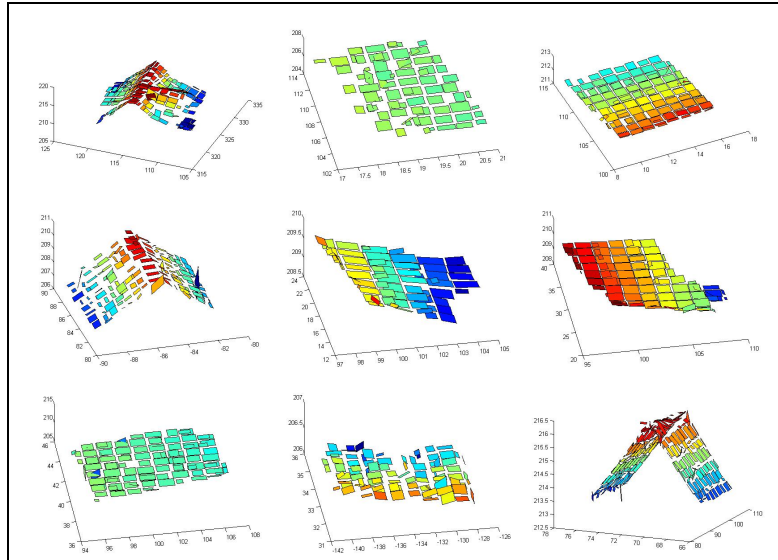
Rys. 5. Integracja ewidencji wraz z chmurą punktów; a) wektory reprezentujące budynki pozyskane z ewidencji, b) rzut na płaszczyznę XY danych lidarowych, c) wektory nałożone na chmurę punktów

Następnie po zintegrowaniu danych, w oparciu o wektory z całej chmury punktów zostały wybrane tylko te punkty, które teoretycznie (wg ewidencji) reprezentują budynki. Po szczegółowej weryfikacji wyciętych punktów stwierdzono, że wybrane punkty zostały nie tylko odbite od dachów, ale również od ścian bocznych budynków. Przedmiotem badań jest dokładne określenie połączeń dachowych, dlatego wzdłuż wektorów został określony bufor do wewnętrznej strony o szerokości 0.5 m, w oparciu o który ponownie wycięto punkty, które reprezentują tylko i wyłącznie dach budynków.

5.2. Wykrycie połączeń dachowych

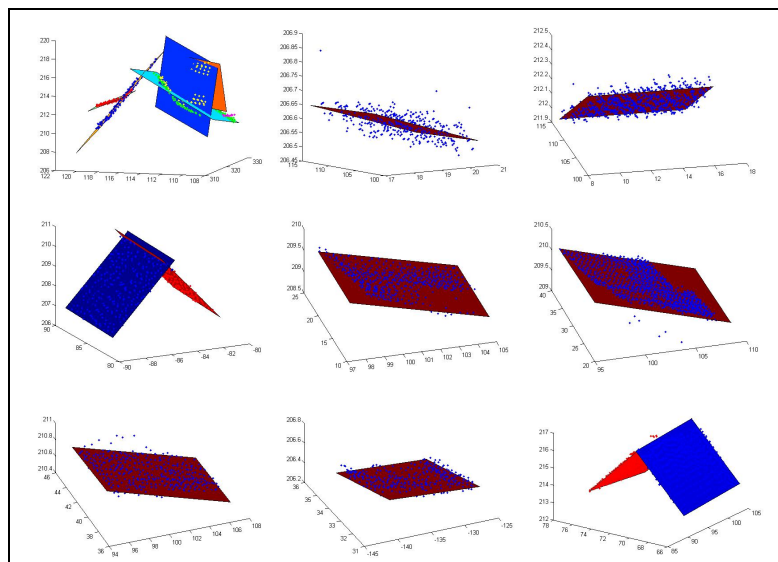
Każdy budynek analizowany był niezależnie, gdzie połączenia dachowe wykrywane były metodą dziel – łącz. Na początku na poszczególnych chmurach punktów został opisany prostopadłościan, który następnie został podzielony na woksele. W każdym elementarnym prostopadłościanie, który zawierał więcej niż trzy punkty została wyaprosymowana płaszczyzna (rys. 6). Na podstawie wyświetlonych, elementarnych płaszczyzn można już ocenić stopień skomplikowania dachu.

W zależności od tego jaki rodzaj dachu posiada budynek, to analiza prawidłowego wykrycia połączeń dachowych jest mniej lub bardziej złożona. W przypadku dachów płaskich, gdzie parametry opisujące płaszczyznę są porównywalne proces łączenia jest szybki i kończy się już w pierwszej iteracji. Podobnie jest w przypadku budynków o dachach dwu- lub czterospadowych. Natomiast gdy dach jest złożony (z lukarnami, okapami), wykrycie jest wiele iteracyjne. Ale dzięki takiemu przejściu od szczegółu do ogółu możliwe jest wykrycie detali wchodzących w skład dachu. Wielkość wykrytych detali uzależniona jest od przyjętej na wstępie wielkości prostopadłościanu elementarnego. W badaniach dla każdego przypadku wysokość była ≤ 1 m, a szerokość i długość ≤ 2 m, ponieważ takie wartości odpowiadają poziomowi szczegółowości LoD2.



Rys. 6. Płaszczyzny wyaproksymowane w poszczególnych wokselał na podstawie punktów (widok izometryczny)

Poniżej zamieszczono efekt końcowy jaki uzyskano w iteracyjnym procesie wykrycia połączeń dachowych. Wyświetlone płaszczyzny nie zostały jeszcze „przycięte” wektorami z ewidencji.

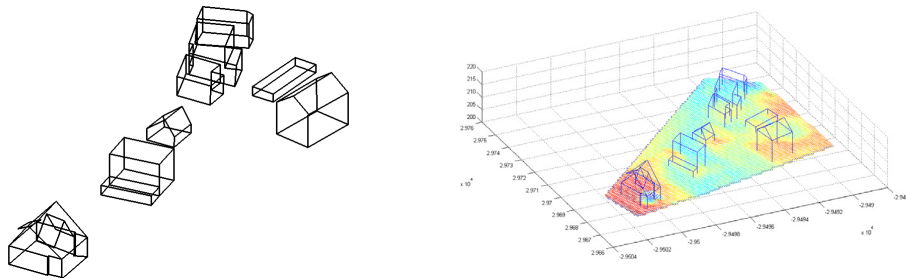


Rys. 7. Wykryte płaszczyzny dachów budynków nałożone na chmurę punktów

W oparciu o uzyskane płaszczyzny oraz współrzędne narożników dachu pozyskane z ewidencji uzyskano dane opisujące model budynku. Znajomość tych danych umożliwiła zbudowanie topologii poszczególnych budynków, na podstawie której można było eksportować modele do formatu wektorowego.

5.3. Weryfikacja uzyskanych wyników

Aby móc zweryfikować poprawność uzyskanych wyników został zbudowany Numeryczny Model Terenu. W tym celu dane lidarowe zostały przefiltrowane metodą aktywnego modelu TIN (Axellsson 2000, Terrasolid 2009). Następnie uzyskane modele budynków zostały osadzone na terenie (rys. 8). Dodatkowo wykonano wizualną ocenę wykrytych dachów w oparciu o ortofotomapę (rys. 9).



Rys. 8. Po prawej: modele budynków uzyskane dzięki integracji danych z ewidencji i z lotniczego skaningu. Po prawej: modele osadzone na NMT



Rys. 9. Ortofotomapa reprezentująca badany obszar

6. PODSUMOWANIE

Niniejszy artykuł jest kontynuacją autorskiego rozwiązania dzięki, któremu można określić kształt dachu budynku, wykonać jego rekonstrukcję, a następnie otrzymany model zapisać w formie wektorowej.

Badania potwierdziły możliwość wykrycia detali dachowych metodą dziel – łącz. Kształty dachów zostały określone z dokładnością sytuacyjną równą 2m, a wysokościową 1m, co odpowiada standardom CityGML na poziomie szczegółowości LoD 2.

Proces generowania modelu odbywa się automatycznie, dzięki napisanej aplikacji w środowisku MATLAB (The MathWorks). Jednak mankamentem jest fakt, że każdy budynek należy analizować osobno.

Dużą zaletą jest wykorzystanie danych ewidencyjnych, ponieważ od razu pozyskana jest krawędź budynku, szczególnie korzystne jest to w przypadku budynków które mają wspólną ścianę. W oparciu o dane lidarowe wykrycie miejsca styku dwóch budynków jest wręcz niemożliwe.

7. LITERATURA

Axelsson P., 2000. DEM generation from laser scanner data using adaptive TIN models. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing* Vol. XXXIII/4B, s.110-117.

Borowiec N., 2009. Generowanie trójwymiarowego modelu budynku na podstawie danych lidarowych. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, vol. 20, s.47-56.

Meng L., Forberg A., 2006. *Challenges in the Portrayal Geographical Information – rozdział 11: 3D Building Generalisation. Issues of Generalisation and Multi Scale Representation*. Munchen, Niemcy.

Terrasolid. 2009: <http://www.terrasolid.fi>

RECONSTRUCTING BUILDING MODEL BASED ON INTEGRATING LIDAR DATA AND CADASTRAL MAPS

KEY WORDS: airborne laser scanner, building projection, model 3D

The automatic reconstruction of three-dimensional models of buildings has been for several years a major research project. Models of buildings are increasingly used for economic reasons in spatial planning. Among the global methods of detection, useful is the active measurement system ALS. However, building reconstruction based only on a cloud of points is complicated, therefore it is very useful to use additional information from other sources. In the present study were used cadastral maps, which allowed a whole set of points to choose only those which reflected from the roofs of buildings. Vectors from the ground plans were obtained as the edges of the roofs of buildings, which were also used as boundaries based on cut points that represented the roof. Roof surfaces were detected from the lidar data. The shape of a roof is automatically determined using the algorithm based on the split merge method. The aim of the algorithm is the transition from particular to general, so it is possible to detect the size of roof elements, which correspond to the size defined at the beginning voxels. The process of identifying roofs runs iteratively, based on the parameters describing the plane. Vectors are raised to the height of the building roof. Models of buildings were derived through integration of vector data from the ground plans, and data from airborne laser scanning is placed on digital terrain models. A terrain model was built of automatically filtered clouds of points.

dr inż. Natalia Borowiec
e-mail: nboro@agh.edu.pl
telefon: (12) 617 39 93