

**OCENA MOŻLIWOŚCI AUTOMATYCZNEJ REKONSTRUKCJI  
3D MODELI BUDYNKÓW Z DANYCH FOTOGRAMETRYCZNYCH**

**EVALUATION OF APPROACHES FOR AUTOMATIC RECONSTRUCTION  
OF 3D BUILDING MODELS FROM PHOTOGRAMMETRIC DATA**

**Aleksandra Bujakiewicz, Ryszard Preuss**

Zakład Fotogrametrii, Teledetekcji i SIP, Politechnika Warszawska

**SŁOWA KLUCZOWE:** rekonstrukcja 3D modeli budynków, wieloźródłowe dane fotogrametryczne

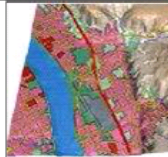
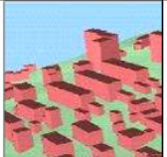


**STRESZCZENIE:** W referacie zostanie dokonana analiza trzech głównych rozwiązań problemu rekonstrukcji 3D modeli budynków z udziałem wieloźródłowych danych fotogrametrycznych. Pierwsze podejście (tzw. model driven) bazuje na założonych kształtach dachów budynków, które są dostępne w bibliotece BDA. W normalnych warunkach, biblioteka predefiniowanych dachów nie jest zbyt kompleksowa, przez co uniemożliwia rekonstrukcję kształtu budynków z nietypowymi konstrukcjami dachów. Podejścia bazujące na definiowanych kształtach dachów są zbyt generalizowane, aby móc opisać i zrekonstruować złożone i skomplikowane konstrukcje budynków, jednakże topologia i semantyka zdefiniowanych modeli dachów stanowi ważne wsparcie oraz punkt wyjściowy dla hipotezy modelowania budynków. W drugim podejściu (data driven), rozwiązania bazują na pomierzonych danych, nie zakładają żadnego modelu kształtu dachu, lecz wykorzystują nadliczbowość tworzoną z gęstej chmury punktów, pozyskanej ze skaningu laserowego lub automatycznego pomiaru techniką korelacji obrazów cyfrowych. Trzecie hybrydowe rozwiązanie (data mining) jest kombinacją dwóch wcześniejszych podejść. Poprzez zastosowanie kombinacji obu metod, rozwiązanych może być wiele problemów w rekonstrukcji 3D modeli budynków. Wykorzystanie semantycznych i topologicznych informacji predefiniowanych zestawów modeli dachów, może służyć jako pierwsze przybliżenie w procesie 3D rekonstrukcji, które w dalszym etapie przetwarzania może być uzupełnione dodatkowo pomierzonymi danymi.

## **1. WPROWADZENIE**

Automatyczna rekonstrukcja trójwymiarowych modeli budynków jest od kilku lat jednym z ważniejszych tematów badawczych na świecie. Wynika to głównie z powodu coraz szerszego zakresu wykorzystania 3D budynków dla różnych celów i związana z tym potrzeba szybkiej i ekonomicznej metody modelowania, oraz rozwoju automatycznych sposobów pozyskiwania i przetwarzania danych źródłowych (lotniczy i naziemny skaningu laserowy, obrazy wykonane kamerami cyfrowymi).

Wymagania dotyczące szczegółowości i dokładności rekonstrukcji 3D modeli budynków są uzależnione od celów jakim mają one służyć. Poziomą szczegółowość i z tym związanej dokładności rekonstrukcji i wizualizacji 3D modeli budynków jest opisany poprzez poziomy detali LoD (Levels of Details). Każdy z nich dotyczy określonego stopnia

generalizacji modelu. Standardy dla 3D budynków nie są jeszcze generalnie dopracowane, zatem dostępne poziomy LoD's są obecnie zwykle określane w zależności od rozdzielczości sensora dla pozyskiwania danych, wymaganej precyzji informacji semantycznej oraz planowanych zastosowań. Istnieje kilka wersji proponowanych serii poziomów LoD, z których najbardziej ogólną jest pięciopoziomowa wersja, przedstawiona na rysunku 1 (Meng, Forberg, 2006).

				
<b>LoD 1</b>	<b>LoD 1</b>	<b>LoD 2</b>	<b>LoD 3</b>	<b>LoD 4</b>
Regionalny	Miasto, okolice	Miasto, okolice	Miasto, okolice	Wnętrze
Bez dachów	Płaskie dachy	Typy dachów i orientacja	„Rzeczywisty” kształt dachu	„Rzeczywisty” kształt dachu
Tektura, ortorelief, pokrycie terenu	Model blokowy	Model teksturowany, zróżnicowane dachy, roślinność (drzewa)	Model architektoniczny, roślinność, infrastruktura ulic	Przechodnie modele architektoniczne
>5m / >5m XY/ Wysokość	5m / 5m	2m / 1m	0,5m / 0,5m	0,2m / 0,2m

Rys. 1. Poziomy szczegółowości modelowania budynków zgodnie ze standardem City GML (źródło: Open Geospatial Consortium)

W wielu innych publikacjach, przytaczana jest także trzy poziomowa wersja, która zawiera modele LoD1, LoD2, LoD3, zgodnie z opisem w tabeli 1.

Stopień generalizacji zawartości pokrycia terenu oraz szczegółowości i dokładności 3D modeli budynków oraz innych elementów pokrywających teren zależy od ich wykorzystania. W przypadku ogólnych poglądowych 3D modeli miast, wystarczający jest poziom LoD1, w którym zakłada się płaskie kształty dachów dla wszystkich budynków oraz dokładność generalizowanych kształtów przyziemi i krawędzi dachów  $\pm 5$  m. W tym przypadku, metody fotogrametryczne pełnią rolę pomocniczą, a zasadnicze elementy mogą być dostarczone przez bazy danych ewidencyjnych budynków w miastach. Dla tworzenia bardziej szczegółowych 3D modeli miast, zakłada się zgodnie z poziomem LoD2, zróżnicowane kształty dachów, opisane predefiniowanymi wybranymi typowymi modelami, dostępnymi w bibliotekach BDA i dokładność przyziemi i krawędzi dachów 2m/1.0m, lub zgodnie z poziomem LoD3, rzeczywiste ich kształty, z wszystkimi szczegółami opisującymi powierzchnie dachów, a także często z teksturowanymi ścianami budowli (dokładność 0.5m/0.5m). Dla obiektów istotnych dla dziedzictwa kulturowego, wykonuje się ich rekonstrukcję na poziomie LoD3, LoD4. W przypadku pełnej dokumentacji architektonicznej budowli, wymagana jest zgodnie z kryteriami LoD4, wysoka dokładność (0.2m / 0.2m) opisu kształtu i wyglądu zewnętrznych a także wewnętrznych części budowli. W takich przypadkach, stosuje się zwykle fotogrametryczne metody pomiaru.

W przypadku stosowania ortofotomapy dla terenów miejskich, tradycyjny produkt zostaje zastąpiony tzw. true ortofotomapą, w której wszystkie wystające ponad teren obiekty, w tym dachy budynków, są odwzorowane w rzucie ortogonalnym. Szczegółowość i dokładność rekonstrukcji kształtu budynków, wykorzystywanych dla produkcji true ortofotomap, jest zależna od wymagań dotyczących ich rozdzielczości i dokładności. W takim zastosowaniu, 3D modele budynków są zwykle wymagane na poziomie rozdzielczości i dokładności LoD2, a w sporadycznych przypadkach pomiędzy LoD2 i LoD3. W większości przypadków, generalizowany kształt dachów może być opisany podstawowymi typowymi modelami lub ich kombinacją, z eliminacją niewielkich 3D detali pokrywających powierzchnie dachu.

## **2. DANE FOTOGRAMETRYCZNE DLA REKONSTRUKCJI 3D MODELI**

Podstawowym źródłem danych dla rekonstrukcji budynków o poziomie szczegółowości LoD2 i LoD3 są dane fotogrametryczne, które są pozyskane z lotniczych skanerów laserowych oraz cyfrowych obrazów lotniczych i satelitarnych (VHRS). Dane z ziemnego skaningu laserowego i cyfrowych obrazów pozyskanych naziemną cyfrową kamerą metryczną lub niemetryczną, w tym montowanych na mobilnym systemie inwentaryzacyjnym (MMS), są wykorzystywane do rekonstrukcji budynków na poziomie szczegółowości LoD4, a także stanowią uzupełnienie dla teksturowania wybranych budynków, rekonstruowanych na poziomie szczegółowości LoD3.

Istotną rolę odgrywają także dane pozyskane z katastralnych map i miejskich baz danych, wykorzystywanych w różnym zakresie, w zależności od poziomu szczegółowości rekonstruowanych 3D modeli. W przypadku modeli rekonstruowanych na poziomie szczegółowości LoD2 ÷ LoD4, wykorzystywane są głównie informacje geometryczne, dotyczące przyziemi budynków, pozostałe dane wyznaczone są przeważnie fotogrametrycznie. Dla rekonstrukcji 3D modeli o szczegółowości LoD1, poza planami przyziemi budynków, z katastralnych baz danych i map wielkoskalowych wykorzystuje się także informacje, dotyczące liczby pięter oraz hipotetycznych założeń co do wysokości tych pięter.

W zależności od wymaganego poziomu dokładności i szczegółowości oraz stopnia automatyzacji 3D modelowania, stosuje się integracje wybranych technik dla wygenerowania 3D modeli budynków (wraz z otoczeniem) (Brenner, 1999; Meng, Forberg, 2006). Dla przykładu, w celu określenia kształtu budynków, łączone są dane pozyskane z odcinowego skaningu lub automatycznej korelacji lotniczych obrazów cyfrowych z rzysiemiami pozyskanymi z bazy katastralnej. Dla tworzenia true ortoobrazów, łączy się dane pozyskane z lotniczego skaningu laserowego (NMT, NMPT) z obrazami lotniczymi. W celu generowania realistycznych 3D modeli wybranych budowli ważnych z punktu widzenia dziedzictwa kulturowego, integruje się dane pozyskane z naziemnego skaningu laserowego i obrazów bliskiego zasięgu. Należy w tym przypadku podkreślić rolę Mobilnego Systemu Inwentaryzacyjnego (MMS), który pozwala efektywnie, zwykle w trybie automatycznym, zbierać i przetwarzać informację o kształcie i wyglądzie budowli.

### 3. AUTOMATYZACJA REKONSTRUKCJI 3D MODELI BUDYNKÓW Z DANYCH FOTOGRAMETRYCZNYCH

Szybki rozwój systemów pozyskujących dane obrazowe oraz zwiększające się wymagania, dotyczące szczegółowości 3D modeli, spowodowały intensywny, stale zwiększający poziom automatyzacji metod rekonstrukcji 3D modeli budynków.

W ostatnim dziesięcioleciu obserwuje się, w ramach wielu projektów badawczych i produkcyjnych, rozwój różnych podejść, wykorzystujących wieloźródłowe dane fotogrametryczne w procesie automatycznej rekonstrukcji 3D modeli. Wiele szczegółowych rozwiązań rekonstrukcji 3D modeli budynków, bazujących na danych fotogrametrycznych, można sklasyfikować w trzech głównych grupach, zgodnie z (Sampath, Shan, 2008; Elberink, 2008):

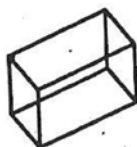
- (1) bazujące na predefiniowanych kształtach dachów, tzw. ‘model driven’,
- (2) wykorzystujące automatycznie określone z chmur punktów dane opisujące kształt dachów i budynków, tzw. ‘data driven’,
- (3) metody hybrydowe które wykorzystują obie grupy danych, tzw. ‘data mining’.

W podejściu (1), bazującym na założonych kształtach dachów budynków (dostępnych w bibliotekach BDA), odpowiednie modele dachów dopasowuje się automatycznie do chmur punktów, pozyskanych ze skaningu laserowego lub automatycznej korelacji obrazów. Często wykorzystuje się także przyziemia budynków pozyskane z istniejących baz danych. W normalnych warunkach, biblioteka predefiniowanych dachów, nie zawiera możliwości dla rekonstrukcji kształtu budynków, z nietypowymi konstrukcjami dachów. Podejścia takie mogą sobie poradzić z kombinacją różnych podstawowych typowych modeli dachów, jednakże w przypadku budynków o skomplikowanych nietypowych konstrukcjach dachów istnieje trudność w ich automatycznym wykrywaniu i modelowaniu. Wiele rozwijanych algorytmów ekstrakcji budynków bazuje na modelach kształtu konstrukcji dachów, ponieważ topologia i semantyka zdefiniowanych modeli dachów stanowi ważne wsparcie dla hipotezy modelowania budynków. Klasyfikacja modeli wraz z ich terminologią jest obszernie przedstawiona w wielu publikacjach, takich jak na przykład (Wolf, 1999; Forstner, 1999; Meng, Forberg, 2006). Zgodnie z klasyfikacją podaną w publikacji (Wolf, 1999), modele dachów dzielą się tak jak na rysunku 2, na: (1) płaskie dachy (płaski poziomy, płaski jednospadowy), (2) tradycyjne dachy (dwuspadowe, czterospadowe, dwuspadowe lub czterospadowe z załamaniem, piramidalne, iglicowe, beczkowe, kopulaste, pilaste), (3) inne dachy (dwuspadowe lub czterospadowe z płaską kalenicą, z załamaniem lub bez).

Predefiniowane modele dachów z założenia mają generalizowany kształt, zatem poprzez ich zastosowanie nie można odtworzyć nietypowych konstrukcji, oraz uwzględnić wystających niewielkich detali pokrywających powierzchnie dachów. Wiele budynków w miastach charakteryzuje konstrukcją, dla których kształty dachów są typowe, należące do grupy modeli podstawowych lub będące ich kombinacją. W takich przypadkach, a także w sytuacjach, w których tworzony finalny produkt opracowania nie wymaga szczegółowych 3D detali dachów (np. dla tworzenia true ortoobrazów), mogą być stosowane metody rekonstrukcji bazujące na założonych predefiniowanych kształtach dachów budynków, które z założenia są prostsze. Naprzeciw takiemu podejściu zmagają

planowane w świecie prace badawcze, związane w kierunku zwiększania liczby i różnorodności predefiniowanych kształtów dachów (Elberink, 2008).

(1) dachy płaskie

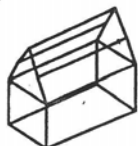


(a)

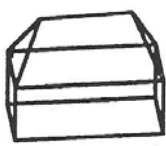


(b)

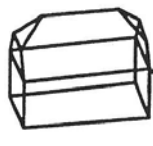
(2) dachy tradycyjne



(a)



(b)



(c)



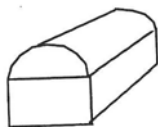
(d)



(e)



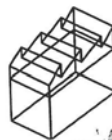
(f)



(g)

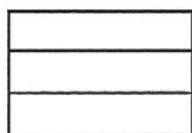


(h)

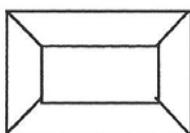


(i)

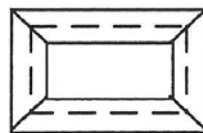
(3) Inne dachy



(a)



(b)

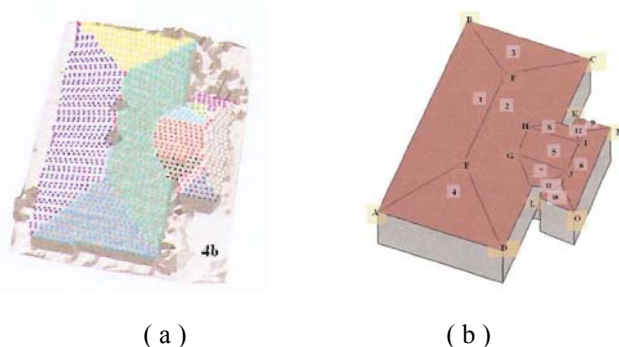


(c)

Rys. 2. Modele kształtu dachów (1 – płaskie, 2 – tradycyjne, 3 – inne) (Wolf, 1999)

W drugim podejściu (data driven), rozwiązania bazują tylko na pomierzonych danych; nie zakładają żadnego modelu kształtu dachu; w celu określenia modelu budynku wykorzystuje się nadliczbowość tworzoną z gęstej chmury punktów ze skaningu laserowego lub obrazów cyfrowych; mogą być wykryte budynki o różnym nietypowym kształcie dachów, z małymi detalami pokrywającymi ich powierzchnie. W większości podejść rekonstrukcji, dane są segmentowane w grupy punktów lub pikseli, należących do tego samego elementu (detalu). Ważne są zależności pomiędzy szczegółami czy segmentami obiektu i jak ten obiekt jest reprezentowany przez dane. W algorytmie

segmentacji, maksymalny próg odległości oraz minimalny rozmiar segmentu decydują czy punkty należą do tego samego segmentu. Wykrycie składowych płaszczyzn jest kluczem dla rekonstrukcji budynków. Grupowanie punktów do indywidualnych segmentów dachu, poprzez określenie wektorów normalnych, umożliwia wyznaczenie głównych kierunków płaszczyzn dachu. Identyfikowanie płaszczyzn wzajemnie się przecinających, pozwala generować krawędzie i wierzchołki dachów. Stosując technikę grupowania tworzony jest wektorowy model szkieletowy dachu budynku. Na rysunku 3a, przedstawione są wyniki przetwarzania chmury punktów z Lidaru dla wybranego budynku, tj. kolorowo kodowane punkty dachu budynku. Wyniki wskazują, że prawie wszystkie punkty są sklasyfikowane poprawnie w odniesieniu do ich odpowiednich płaszczyzn. Na rysunku 3b pokazany jest wygenerowany model szkieletowy dachu (Sampath, Shan, 2008).



Rys. 3. (a) Wyniki przetworzenia chmury punktów z Lidaru dla wybranego kształtu dachu; (b) Wektorowy model szkieletowy dachu (Sampath, Shan, 2008)

Algorytmy opisujące metody, które wykorzystują tylko dane określone automatycznie z chmur punktów, są skomplikowane. Jak podkreślono w kilku publikacjach (Rottensteiner, Briese, 2002; Rottensteiner, et al., 2004), automatyczne wyznaczenie obrysów krawędzi dachów i budynków z chmury punktów pozostaje ciągle jeszcze trudnym zadaniem do rozwiązania, pomimo wielu prac badawczych na ten temat. Największym problemem jest określenie obrysów tych części budynków, które nie zawierają punktów laserowych. Drugi typ problemu, jest związany z bogactwem sceny, definicją przyziemia budynku oraz sposobu ich prezentacji w danych laserowych. Szereg metod ekstrakcji budynków z danych Lidar wymaga zastosowania danych pomocniczych, takich jak wektorowe obrysy przyziemi z baz danych czy obrazy wielospektralne (Rottensteiner, Briese, 2003; Schiewe, 2004; Rottensteiner, et al., 2004; Rottensteiner, 2007 i 2008).

Analiza zalet i wad powyższych dwóch podejść, tj. bazujących na predefiniowanym modelu dachu oraz na mierzonych danych, spowodowała rozwój rozwiązań hybrydowych, tj. jednoczesnego wykorzystania obu z nich w celu ułatwienia rekonstrukcji modeli budynków różnego nietypowego kształtu i jednocześnie umożliwienia wyeksponowania niewielkich detali pokrywających powierzchnie dachów.

Trzecie hybrydowe rozwiązanie (data mining) jest zatem kombinacją dwóch podstawowych podejść (model driven oraz data driven). Poprzez zastosowanie kombinacji obu metod, można rozwiązać wiele problemów w rekonstrukcji 3D modeli budynków.

Wykorzystanie semantycznych i topologicznych informacji predefiniowanych zestawów modeli dachów, może służyć jako pierwsze przybliżenie w procesie 3D rekonstrukcji, które w dalszym etapie przetwarzania jest uzupełniane dodatkowo pomierzonymi danymi. Pozyskując więcej informacji z pomiaru danych, czyni się rozwiązanie bazujące na modelu kształtu dachu bardziej elastyczne. Przykłady kombinacji obu rozwiązań są prezentowane w publikacjach (Sohn, 2004; Rottensteiner, 2006; Drauschke, Forstner, 2008).

W wyniku prac doświadczalnych zauważono, że istniejące biblioteki modeli dachów są zbyt ograniczone. W związku z tym, przyszłościowe badania technik rekonstrukcji będą ukierunkowane na tworzenie szerokiego zestawu potencjalnych modeli dachów. Zgodnie z sugestią przedstawioną w publikacji (Elberink, 2008), każdy z potencjalnych modeli w tym zestawie, powinien łączyć informacje wynikające z predefiniowanego modelu dachu, zawierające informacje semantyczne i topologiczne oraz informacje bezpośrednio pomierzone, tj. obrysy (krawędzie) dachu i ich przecięcia (wierzchołki).

Ze względu na coraz szersze zastosowanie 3D modeli budynków, ich automatyczna lub półautomatyczna rekonstrukcja na podstawie danych fotogrametrycznych, jest w pełni uzasadniona i zatem stały rozwój takich metod jest konieczny. Jednakże rodzaj i szczegółowość danych wymaganych dla rekonstrukcji 3D modeli budynków, zależy od celu ich dalszego wykorzystania.

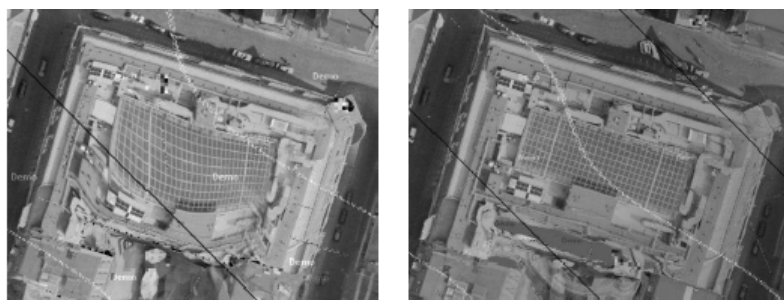
Wstępne wyniki pozyskane w ramach pracy dyplomowej (Kaźmierska, 2009), prowadzonej w Zakładzie Fotogrametrii, Teledetekcji i SIP - PW, pod kątem projektu badawczego nt. 'Badanie jakości True Ortho w aspekcie wykorzystywanych do jego generowania danych źródłowych', wskazują, że dla generowania true ortoobrazu terenu miejskiego, muszą być ustalone odpowiednie zasady, dotyczące rodzaju danych opisujących 3D modele budynków, określone w oparciu o dane ze skaningu laserowego lub z pomiaru zdjęć cyfrowych. W celu poprawnej interpretacji poszczególnych elementów dachu przez program realizujący true ortorektifikację, taki jak OrthoMaster stacji INPHO, wymaganych jest kilka warunków dla danych inicjalnych dotyczących 3D modeli budynków:

(1) Wyraźne zaznaczenie płaszczyzn konstrukcji dachu, a nie tylko pomiar obrysów dachów i przyziemi oraz głównych krawędzi przy załamaniach dachu. Zbyt duża generalizacja konstrukcji dachu powoduje jego zniekształcenia geometryczne na ortoobrazie. Na rysunku 4, pokazano jak zbyt duża generalizacja w fotogrametrycznym 3D pomiarze kształtu dachu o skomplikowanej konstrukcji, wpłynęła na zniekształcenia jego obrazu na true ortoobrazie (rys. 4a), oraz jak zostały one wyeliminowane przy poprawionym pomiarze (rys. 4b).

(2) Poligony dotyczące obrysów dachów i przyziemi muszą znajdować się w niezależnych plikach;

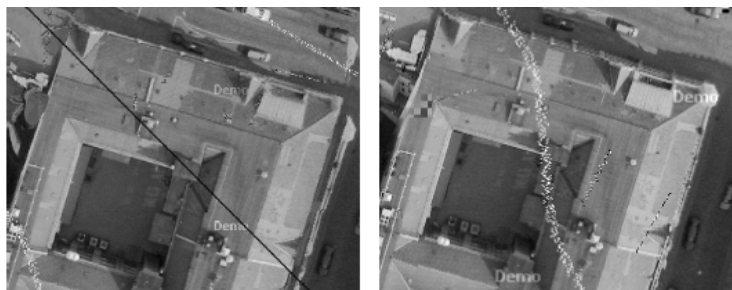
(3) Poszczególne linie na stykach sąsiednich poligonów nie mogą być powtarzane;

(4) Elementy konstrukcji dachu / budynku muszą znajdować się w różnych warstwach, w przeciwnym przypadku nie jest możliwa segregacja poszczególnych elementów budynków na odpowiednie grupy.



Rys. 4. Fragment true ortoobrazu dachu budynku wygenerowanego w programie OrthoMaster, na podstawie (a) zbyt dużej generalizacji w fotogrametrycznym 3D pomiarze kształtu dachu, oraz (b) poprawnie pomierzonym kształcie dachu (Każmierska, 2009)

Wykorzystane w pracy dyplomowej (Każmierska, 2009) numeryczne 3D modele budynków (NMB), dla fragmentu miasta Wrocław, stworzone z danych lidarowych przez firmę GISPRO, nie mogły być zastosowane bezpośrednio jako dane inicjalne dla wygenerowania true ortoobrazu w programie OrthoMaster. Modyfikacja tych danych pod kątem w/w warunków (2), (3) i (4) umożliwiła ich wykorzystanie dla true ortoobrazu. Rysunek 5b przedstawia fragment ortoobrazu dachu budynku wygenerowany na podstawie zmodyfikowanego 3D modelu dachu z danych lidarowych. Rysunek 5a prezentuje ortoobraz stworzony na podstawie dokładnej stereodigitalizacji obrazów cyfrowych.



Rys. 5. Fragment true ortoobrazu dachu budynku wygenerowanego w programie OrthoMaster, na podstawie (a) kształtu dachu mierzonego poprzez szczegółową stereodigitalizację (b) modyfikowanego 3D modelu pozyskanego z danych Lidar (Każmierska, 2009)

Należy podkreślić, że modyfikacja NMB pozyskanego z danych lidarowych jest bardzo pracochłonna, a zatem należy zapewnić wszystkie wymogi dotyczące danych inicjalnych do programu true ortorektifikacji na etapie rekonstrukcji 3D modeli z danych źródłowych.



#### 4. KONKLUZJE

Jak wynika z przedstawionej oceny, udział metod fotogrametrycznych w procesie budowy modeli 3D miast jest znaczący. Wzrasta on wraz z poziomem szczegółowości odtwarzanych budowli. Obserwujemy próby standaryzacji tworzonych produktów (CityGML), co jest bardzo ważne w ich upowszechnianiu oraz szerszym wykorzystaniu.

Rozwój metodyki automatycznego przetwarzania chmury danych ze skaningu laserowego lub matchingu obrazów cyfrowych do postaci modeli wektorowych (szkieletowych) 3D miast wysokiej jakości jest kluczem wdrażania technologii True-Ortho w praktyce produkcyjnej.

Niniejsza problematyka badawcza jest szczegółowo analizowana w ramach projektu badawczego prowadzonego przez Zakład Fotogrametrii, Teledetekcji i SIP Wydziału Geodezji i Kartografii Politechniki Warszawskiej n.t. "Badanie jakości True-Ortho w aspekcie wykorzystywanych do jego generowania danych źródłowych".

W procesie generowania true ortofotomapy niezbędne są dane inicjalne w postaci Numerycznego Modelu Pokrycia Terenu, który może powstać poprzez wtórne przetwarzanie modelu 3D miasta. Modele te mogą charakteryzować się różną jakością geometryczną i skutkiem tego określoną przydatnością do procesu generowania true ortobrazu. Postać 3D modeli musi być dostosowana do wymogów danych inicjalnych, akceptowanych przez oprogramowanie realizujące generowanie true ortobrazu. Modyfikacja numerycznego modelu budynków (NMB) jest bardzo pracochłonna, a zatem należy zapewnić wszystkie wymogi dotyczące danych inicjalnych do programu true ortorektyfikacji, na etapie rekonstrukcji 3D modeli.

Praktyczne wdrożenie nowego typu produktu ortofotograficznego dla terenów miejskich jest uzależnione od aspektów ekonomicznych pozyskiwanych do tego celu danych inicjalnych. Wyniki prac z tej problematyki będą publikowane w miarę postępu prac we wspomnianym projekcie badawczym.

#### 5. LITERATURA

- Brenner C., 1999. Interactive Modeling Tools for 3D Building Reconstruction. *Photogrammetric Week, Stuttgart*.
- Drauschke M, Forstner W., 2008. Selecting Appropriate Features for detecting Buildings and Buildings Parts. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 37, B3.
- Elberink S.O., 2008. Problems in Automated Building Reconstruction based on Dense Airborne Laser Scanning Data. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, Vol. 37, B3.
- Forstner W., 1999: 3D City Models: Automatic and Semiautomatic Acquisition Methods. *Photogrammetric Week, Stuttgart*
- Meng L., Forberg A., 2006. 3D Building Generalisation' Rozdział 11 – książki *Challenges in the Portrayal Geographical Information: Issues of Generalisation and Multi Scale Representation*. Munchen, Germany.
- Rottensteiner F., Briese C., 2002. A new Method for Building Extraction in Urban Areas from High Resolution Lidar Data. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Commission III, WG III/3.

- Rottensteiner F., Briese C., 2003. Automatic Generation of Building Models from Lidar Data and the Integration of Aerial Images. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 34 WG/II/3.
- Rottensteiner F., Trinder J., Clode S., Kubik K. 2004. Fusing Airborne Laser Scanner Data and Aerial Imagery for the Automatic Extraction of Buildings in Densely Built-up Areas. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 35, B3.
- Rottensteiner F., 2006. Consistent Estimation of Building Parameters Considering Geometric Regularities by Soft Constraints. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, Vol. 36, B3.
- Rottensteiner F., 2007. Building Change Detection from Digital Surface Models and Multi-spectral Images. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 36/3/W49B.
- Rottensteiner F., 2008. Automated Updating of Building Data Bases from Digital Surface Models and Multi-spectral Images: Potentials and Limitations. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 37, B3.
- Sampath A., Shan J., 2008. Building Roof Segmentation and Reconstruction from Lidar Point Clouds Using Clustering Techniques *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 37, B3.
- Schiewe J., 2004. Fusion and Perceptual Organisation of Features from Multi-Sensor Data: General Concepts and New Developments. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 35, B4.
- Wang Z., Schenk T., 2000. Building Extraction and Reconstruction from Lidar Data *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 33, B3.
- Gołębowski K., 2008. Ekstrakcja budynków z danych LIDAR dla terenów miejskich. Praca dyplomowa Magisterska, Zakład Fotogrametrii, Teledetekcji i SIP, Politechnika Warszawska.
- Kaźmierska A., 2009. Wykonanie True Ortho w pakiecie programowym OrthoBox. Praca dyplomowa Magisterska, Zakład Fotogrametrii, Teledetekcji i SIP, PW

**EVALUATION OF APPROACHES FOR AUTOMATIC RECONSTRUCTION  
OF 3D BUILDING MODELS FROM PHOTOGRAMMETRIC DATA**

KEY WORDS: reconstruction of 3D building models, multi-source of photogrammetric data

SUMMARY: The paper presents an evaluation of three main approaches for reconstruction of 3D models of buildings based on the photogrammetric data. The first approach, model driven, is based on predefined shapes of building roofs, taken from the BDA library. The standard BDA library is not complex, and therefore the buildings with non-typical roof shapes can not be reconstructed. Such approaches are too generalized for description and reconstruction of complicated buildings but semantics and topology of the roof models are important initial points for modeling of buildings. The solutions of the second approach, data driven, are based only on the measured data. Predefined shape of roof model is not defined, but supernumerary of huge number of data acquired from laser scanning or automatic matching of digital imagery is used. The third approach, data mining, is a combination of model and data driven solutions, which allows to solve many problems in 3D models reconstruction. The semantic and topology information of the predefined set of the roof models serve as the first approximation in reconstruction and modeling process, which can be supplemented with additionally measured data.

Prof. dr hab. inż. Aleksandra Bujakiewicz  
e-mail: abujak7@wp.pl  
tel. +48 503086444

Dr inż. Ryszard Preuss  
e-mail: ryszard.preuss@wp.pl  
tel. +48 601143570