

## TRÓJWYMIAROWE MODELE MIAST – TWORZENIE I ZASTOSOWANIA

### 3D CITY MODELS –GENERATION AND APPLICATIONS

**Sebastian Różycki**

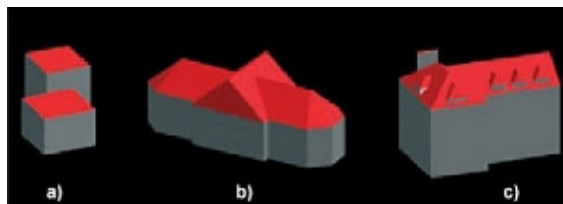
Instytut Fotogrametrii i Kartografii, Wydział Geodezji i Kartografii,  
Politechnika Warszawska

**SŁOWA KLUCZOWE:** trójwymiarowe modele miast, wizualizacje 3D, IKONOS, analizy przestrzenne

**STRESZCZENIE:** Coraz częściej wykorzystuje się realistyczne wizualizacje miast obejmujące trzy wymiary w wielu aplikacjach z dziedziny m. in. planowania przestrzennego, telekomunikacji czy bezpieczeństwa publicznego. W niniejszym artykule autor przeanalizował ogólne trendy panujące na świecie dotyczące budowy modeli 3D. Przedstawił rodzaje danych, które mogą być wykorzystane do generowania trójwymiarowych modeli miast. Przeanalizował m.in.: zdjęcia lotnicze i satelitarne, bazę danych topograficznych (TBD), numeryczne modele terenu oraz dane pochodzące ze skaningu laserowego. Opisane zostały możliwości wykorzystania programów ArcGIS, Erdas Imagine/LPS, Cyber City Modeller i Terrain View do tworzenia i prezentowania modeli miast 3D. Zostały również zaprezentowane wyniki eksperymentu dotyczącego budowania trójwymiarowego modelu miasta opartego na stereo-parach zdjęć satelitarnych z satelity IKONOS dla aglomeracji krakowskiej. Autor przedstawił praktyczne zastosowanie trójwymiarowych modeli miast w turystyce i obronności.

#### 1. SZCZEGÓŁOWOŚĆ TRÓJWYMIAROWYCH MODELI MIAST

Przy tworzeniu wysokościowych modeli budynków należy najpierw zastanowić się nad ich dokładnością. Dla wysokościowych modeli budynków (brył) można określić zarówno dokładnością sytuacyjną (X,Y) jak i wysokościową (Z). W zależności od wymaganej dokładności określimy rodzaj danych oraz oprogramowania, które zostanie wykorzystane do stworzenia modelu. Wyróżniamy trzy modele określające szczegółowość budynków (Rys. 1): model blokowy (a), model ze strukturą dachu (b) oraz model z dokładną strukturą dachu (c):



Rys. 1. Trzy modele określające szczegółowość budynków (Ulm, 2004)

Model blokowy jest najprostszym modelem prezentacji budynków. Źródłem danych do modelu blokowego mogą być dane wektorowe w postaci poligonów określających zewnętrzne ściany budynków. Model budynku ze strukturą dachu wymaga wykorzystania obrazów satelitarnych o dużej rozdzielczości (np. IKONOS i QuickBird). Dla stworzenia modeli z dokładną strukturą dachu najlepszym źródłem są zdjęcia lotnicze w połączeniu z mapami w dużych skalach lub dane ze skaningu laserowego.

## 2. ŹRÓDŁA DANYCH DO TWORZENIA WYSOKOŚCIOWYCH MODELI BUDYNKÓW

Aktualnie najczęściej wykorzystywanymi źródłami danych do tworzenia wysokościowych modeli budynków są: stereo-pary obrazów lotniczych, stereo-pary obrazów satelitarnych o bardzo dużej rozdzielczości, dane pochodzące z laserowych pomiarów powierzchni - LIDAR, dane wektorowe (Poli, 2006).

### 2.1. Dane wektorowe

Wysokościowe modele budynków można zbudować z wykorzystaniem danych wektorowych. Jest to dość prymitywny sposób, w jego wyniku powstanie przybliżony model budynków. Jednak w pewnych przypadkach, dla potrzeb szybkiej wizualizacji np. dla celów pokazowych, model taki może być stworzony. Najciekawszym rozwiązaniem, w polskich realiach, może być wykorzystanie danych wektorowych dotyczących budynków z Bazy Danych Topograficznych (TBD) oraz z danych katastralnych. Dokładności TBD jest zbliżona do dokładności jaką oferuje mapa topograficzna w skali 1:10000. Do stworzenia trójwymiarowych modeli miast można wykorzystać klasę „Budowle i urządzenia”. Jako jeden z atrybutów dopisywanych przez operatorów tworzących daną bazę, jest liczba kondygnacji (L\_KONDYGNACJI). Atrybut ten pozwala na stworzenie najprostszego, blokowego modelu miasta poprzez przypisanie kondygnacji wysokości (Rys. 2). Również dane z Ewidencji Gruntów i Budynków (EGiB) mogą być przydatne podczas budowania trójwymiarowych modeli miast (Rys. 3).



Rys. 2. Wizualizacja warstwy „Budynki mieszkalne” z TBD dla obszaru centrum Warszawy



Rys. 3. Wizualizacja warstwy „Budynki” z EGiB dla dzielnicy Żoliborz w Warszawie (oprac. Geo-System, 2007)

## 2.2. Stereo-pary zdjęć satelitarnych i lotniczych

Wysoko rozdzielcze systemy satelitarne charakteryzują się możliwością wychylenia układu optycznego w przód i wstecz co umożliwia tzw. stereoskopię z jednej orbity. System obrazuje dany obszar dwa razy: raz wychylając układ optyczny do przodu, a drugi raz wstecz, z opóźnieniem kilkudziesięciu sekund. W rezultacie otrzymuje się stereo-pary o bardzo dobrych warunkach pomiaru wysokości. Ten sposób stereoskopii ma zdecydowaną przewagę nad stereoskopią z sąsiednich orbit. Potencjał kartograficzny wysokorozdzielczych obrazów satelitarnych typu Ikonos czy QuickBird z pikselem zbliżonym do 1 metra odpowiada potencjałowi zdjęć lotniczych w skali 1:25000 – 1:35000 (Kureczyński, 2004). Dokładność modeli wysokościowych budynków opartych na stereo parach zdjęć lotniczych wynosi około 20 cm, a w przypadku zdjęć satelitarnych wynosi około 1-2 metra (Ulm, 2003).

Doświadczenia własne oceny dokładności pozyskanych modeli budynków ze stereo-par zdjęć satelitarnych (z systemu IKONOS) są podobne do wyników przedstawionych powyżej. Jako materiał referencyjny do oceny dokładności przyjęto dane ze skaningu laserowego. Dane te pochodziły z Biura Planowania Przestrzennego Urzędu Miasta w Krakowie.

**Tab 1.** Porównanie wysokości modeli budynków pozyskanych ze skaningu laserowego oraz z obrazów IKONOS

Budynek	Wysokość budynku [m] (skaning laserowy)	Wysokość budynku [m] (zdjęcia stereo IKONOS)	Różnica wysokości [m]
1	20.6	21.96	1.36
2	14.3	16.56	2.26
3	21.3	20.06	1.24
4	19.5	20.34	0.84
5	20.2	21.38	1.36
Średni błąd kwadratowy $m_H =$			<b>1.49 m</b>

Porównanie wysokości budynków przedstawia Tab. 1. Przybliżona dokładność wysokościowa stworzonych modeli budynków ze stereo pary zdjęć IKONOS wynosi +/- 1.49 m.

## 2.3. Lotniczy skaning laserowy - LIDAR

Produktem lotniczego skaningu laserowego jest zbiór punktów w przestrzennym układzie współrzędnych. Punkty te są punktami laserowymi i stanowią punkty odbicia od powierzchni terenu oraz obiektów "wystających" ponad tę powierzchnię, jak budynki i drzewa (Kureczyński, 2006). Dla generowania trójwymiarowych modeli miast wymagane jest by "gęstość" punktów lasera wynosiła minimum 2 punkty na metr kwadratowy. Na podstawie chmury punktów pozyskanych z pomiarów możemy zidentyfikować te punkty, które reprezentują odbicie impulsu od dachów budynków (określenie obrysu budynku) oraz

punkty, które reprezentują jeszcze dodatkowo kształt i rozmiar budynku. Proces pozyskania danych odbywa się bardzo szybko, jednak już sam proces wykrywania, a następnie modelowania budynków ze zbioru punktów jest procesem złożonym. Istnieje wiele publikacji opisujących półautomatyczne i automatyczne metody ekstrakcji budynków. Dokładności metod półautomatycznych wynoszą od 0.3 do 0.5 metra w płaszczyźnie pionowej (Ulm, 2003). Wysoka dokładność skaningu laserowego oraz jednoczesna wydajność pomiaru powoduje, że metoda ta staje się coraz częściej używana przy budowie modeli 3D miast. Jediną wadą skaningu laserowego są jeszcze nie do końca dopracowane metody ekstrakcji budynków.

### **3. PRZEGLĄD OPROGRAMOWANIA DO BUDOWY WYSOKOŚCIOWYCH MODELI BUDYNKÓW**

W analizach przestrzennych coraz częściej korzysta się z modeli 3D oraz dodaje się wysokościowe modele budynków (w postaci warstw tematycznych) do Systemów Informacji Przestrzennej. Te nowe trendy spowodowały pojawienie się nowego określenia „3D GIS” lub „3D SIP”. W niniejszym rozdziale przedstawiono na podstawie przeglądu literaturowego i doświadczeń autora oprogramowanie, które umożliwia budowanie oraz wizualizowanie wysokościowych modeli budynków.

#### **3.1. ARCGIS**

ArcGIS jest linią produktów, które tworzą kompletne, skalowalne oprogramowanie do budowy, zarządzania Systemami Informacji Geograficznej. Rozszerzeniem, które pozwala wizualizować wielowarstwowe dane wektorowe (zawierające informacje 3D) oraz tworzyć powierzchnie trójwymiarowe jest aplikacja ArcScene oraz ArcGlobe.

We wcześniejszej wersji Arc/Info 8, tworzenie widoków 3D odbywało się w module ArcPlot, służącym przede wszystkim do przygotowywania map. Pojawienie się ArcScene jako wyspecjalizowanej aplikacji trójwymiarowej było niewątpliwie ogromnym krokiem naprzód w stosunku do poprzednich rozwiązań. ArcScene posiada bardzo bogatą bibliotekę pogrupowanych obiektów 3D. Między innymi: kilkanaście modeli budynków, zaczynając od stacji benzynowej, a kończąc na wieżowcach, modele drzew, samochodów, znaków drogowych itp. Trzeba również zauważyć, że program ArcScene jest produktem umożliwiającym jedynie wizualizację modeli 3D. Program nie pozwala na budowę trójwymiarowych modeli budynków.

ArcGlobe jest najnowszą aplikacją ArcGIS i jest, podobnie jak ArcScene, związana z rozszerzeniem 3D Analyst. Dzięki tej aplikacji możliwe jest tworzenie wizualizacji w skali globalnej. Idea ArcGlobe'a sprowadza się do wyświetlania danych nie, jak dotąd, na płaszczyźnie, lecz na powierzchni kuli ziemskiej. Daje to potencjalne możliwości obrazowania bardzo dużych obszarów, w skrajnym wypadku obejmujących całą Ziemię.

#### **3.2. Cyber City Modeller**

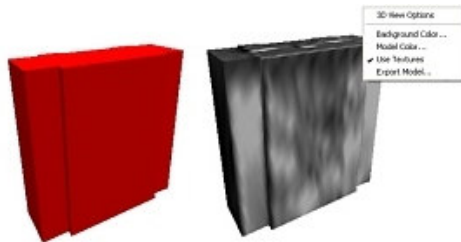
Pierwotnie program Cyber City Modeller powstał w szwajcarskiej firmie ETH Zurich. W następnych latach został ulepszany i finalnie pojawił się na rynku jako produkt firmy CyberCity Ag. Pakietu Cyber City Modeller (CC-Modeller) składa się z następujących modułów: CC-Modeller – służy do pozyskiwania struktury dachu budynku, CC-Edit – pomaga w zbudowaniu topologii stworzonych modeli budynków, CC-Mapping – służy do

tworzenie fasad budynków, CC-Digit – pozwala na budowę modeli budynków na podstawie danych pochodzących z map i danych katastralnych. Najważniejszą cechą oprogramowania jest możliwość automatycznej lub półautomatycznej budowy topologii stworzonych obiektów. Błędy i niedociągnięcia linii, węzły wiszące mogą być usunięte. W wyniku tych czynności powstaje model wysokościowy z pełną topologią.

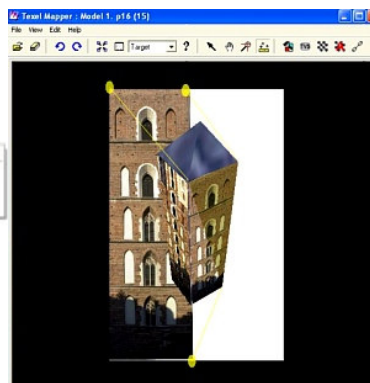
### 3.3. ERDAS Stereo Analyst

Oprogramowanie ERDAS Stereo Analyst (wchodzący w skład pakietu Leica Photogrammetry Suite) pozwala pozyskiwać dane w postaci dwu i trójwymiarowej. Źródłami, z których można pozyskać te dane mogą być zdjęcia lotnicze i zdjęcia satelitarne. Przed przystąpieniem do pozyskiwania wysokościowych modeli budynków należy dokonać dokładnej rekonstrukcji modelu stereoskopowego na podstawie elementów orientacji zewnętrznej zdjęć lotniczych lub satelitarnych. Proces ten dokonujemy w programie ERDAS OrthoBASE. Sam pomiar trójwymiarowego modelu budynku polega na pomiarze paralaksy na podstawie poruszającego znacznika. Podczas budowy wysokościowego modelu budynku operator musi dokonać pomiaru widocznej na stereoparach części budynku. Najczęściej jest to jego dach. Wynikiem pomiaru dachu budynku jest tzw. trójwymiarowa chmura punktów (x, y, z) charakteryzująca jego strukturę (Różycki, 2006). Ściany boczne budynku powstają poprzez automatyczne rozciągnięcie poligonu tworzącego dach do powierzchni numerycznego modelu terenu. Wykorzystując funkcje „add elements” program daje nam możliwość dodawania do przed chwilą stworzonego modelu, dalszych jego elementów takich jak np.: kominy, wieże itp.

Oprogramowanie Stereo Analyst dysponuje specjalnym programem, który pozwala na generowanie fasad budynków na podstawie zdjęć niemetrycznych. Program ten nosi nazwę Texel Mapper (0). Istnieje też sposób pozyskiwania fasad budynków automatycznie ze zdjęć lotniczych lub satelitarnych. W przypadku zdjęć o niewielkim odchyleniu układu optycznego od linii pionu efekty pozyskanych fasad są mało atrakcyjne (widać to dobrze na 0). Metoda ma tę zaletę, że proces ten dokonuje się automatycznie poprzez wybranie jednej opcji.



Rys. 4. Automatyczne generowanie fasad



Rys. 5. Przykłady generowania fasad budynków - program Texel Mapper

#### **4. WYKORZYSTANIE TRÓJWYMIAROWYCH MODELI MIAST**

Pierwsze próby udostępnienia danych przestrzennych w postaci obrazów dwu i trójwymiarowych pokrywających cały świat zostały już podjęte. Pionierami w tej dziedzinie są firmy: Google Inc. i jej aplikacja Google Earth, NASA i jej aplikacja WorldWind oraz Microsoft i VirtualEarth. Aktualnie toczy się zacięty wyścig pomiędzy Google a Microsoftem. Na wielu blogach internetowych internauci oceniają nowo powstające modele miast (głównie na obszarze Stanów Zjednoczonych). Aktualnie widać pewną przewagę serwisu firmy Microsoft. W najbliższej przyszłości dominacja Microsoftu powinna się powiększyć. W maju 2006 roku Microsoft wykupił firmę Vexcel. Wykupienie potentata z branży opracowań fotogrametrycznych i teledetekcyjnych ma służyć rozwojowi serwisu VirtualEarth poprzez budowanie bardzo dokładnych trójwymiarowych modeli miast przy wykorzystaniu kamery UltraCam produkcji Vexcela.

##### **4.1. Terrain View – modele w internecie**

Ciekawymi możliwościami udostępniania danych przestrzennych w Internecie dysponuje oprogramowanie TerrainView szwajcarskiej firmy ViewTec AG. Oprogramowanie TerrainView pozwala prezentować w sieci Intranetowej lub w Internecie Ogólno dostępne są również serwisy udostępniające: wizualizacje terenów odwiedzanych przez narciarzy. Serwisy te udostępniają modele 3D tras narciarskich oraz map spadków. Ogólno dostępny serwis Internetowy Map2Day, który wykorzystuje oprogramowanie TerrainView, udostępnia 16500 modeli budynków miasta Salzburg. 15000 modeli to zwykle modele blokowe, a reszta to modele pozyskane z dużą dokładnością szczegółów i z realistycznymi fasadami (Ulm et al., 2005). Serwis ten można znaleźć pod Internetowym adresem: [www.map2day.at](http://www.map2day.at). Turystyka promująca dane miasto lub rejon jest branżą, która najczęściej wykorzystuje trójwymiarowe modele miast.

##### **4.2. Bezpieczeństwo publiczne**

Trójwymiarowe modele miast nie służą jedynie do prostych wizualizacji. Dostępne jest oprogramowanie pozwalające przeprowadzać analizy przestrzenne na zbiorach 3D. Najciekawszymi produktami na rynku oferującymi możliwości analiz danych 3D są programy InReality i UrbanAnalyst. Programy te są wykorzystywane w podczas sytuacji kryzysowych.

Tematyka dotycząca zarządzania kryzysowego jest w Polsce bardzo popularna. Zarówno jednostki administracyjne jak i firmy komercyjne pracują nad różnymi rozwiązaniami. Większość prac skupia się głównie na rozwijaniu systemów odpowiedzialnych za powiadamianie o zagrożeniach i komunikację pomiędzy centrami zarządzania. Wykorzystanie danych przestrzennych w celu zarządzania kryzysowego jest bardzo znikome. Jeżeli systemy takie już funkcjonują lub są oferowane jako „gotowe” produkty przez firmy komercyjne, to obejmują one jedynie dane odnoszące się do dwóch wymiarów.

Aplikacje GIS jakimi są programy InReality i UrbanAnalyst umożliwiają minimalizację następstw zdarzeń o charakterze katastrofy wywołanych przyczynami naturalnymi lub wrogimi działaniami oraz szybkie likwidowanie zaistniałych zniszczeń. Oprogramowania InReality oraz UrbanAnalyst pozwalają na analizowanie różnorodnych scenariusze sytuacji kryzysowych np.: pole zasięgu snajpera umieszczonego na budynku,

pole rażenia eksplozji ładunków wybuchowych, rozprzestrzenianie się substancji w powietrzu w zależności od panujących warunków wietrznych.

Aplikacje GIS były wykorzystywane jako narzędzia wspierające działania sił bezpieczeństwa podczas m. in. szczytu państw obu Ameryk czy Igrzysk Olimpijskich w Salt Lake City. Aplikacje te są też powszechnie wykorzystywane przez oddziały antyterrorystyczne, saperskie, straż pożarną i policję w Stanach Zjednoczonych. Armia Amerykańska na potrzeby interwencji w Iraku stworzyła trójwymiarowy model miasta Bagdad. Do tego celu wykorzystano zdjęcia z satelity QuickBird. Stworzono 1.2 mln. brył budynków (Harris, 2007). Trójwymiarowy model miasta Bagdadu żołnierze mogą wizualizować z wykorzystaniem małego komputera przenośnego oraz przeprowadzać na nim analizy przestrzenne bezpośrednio na akcji bojowej.

## 5. PODSUMOWANIE

Zapotrzebowanie na trójwymiarowe modele miast będzie wzrastało w najbliższych latach. Również w Polsce widać rosnące zainteresowanie. Wykonane są „naloty” z wykorzystaniem skaningu laserowego dla Wrocławia i Krakowa, a planowany jest „nalot” dla Warszawy. Dane ze skaningu są bardzo dobrym materiałem do zbudowania 3D modeli miast. Firma SCOR S.A. wykonała modele dla największych miast w Polsce i planuje sprzedawać swoje technologie za granicą (stworzyła model miasta Istanbul w Turcji). Obecnie operatorzy komórkowi wykorzystują stworzone przez SCOR trójwymiarowe modele miast do budowania sieci telefonii komórkowej.

## 6. PODZIĘKOWANIA

Serdeczne podziękowania dla Pana Ireneusza Jędrychowskiego z Biura Planowania Przestrzennego Urzędu Miasta w Krakowie za udostępnienie wysokości budynków pochodzących ze skaningu laserowego. Podziękowania dla SCOR za udostępnienie obrazów IKONOS.

## 7. LITERATURA

- Kurczyński Z., 2006. Lotniczy skaning laserowy (LIDAR). <http://www.geoforum.pl>.
- Kurczyński Z., 2004. Współdziałanie wieloźródłowych systemów obrazowania powierzchni Ziemi. Oficyna Wydawnicza PW, Warszawa.
- Poli D., 2006 - Reality-based 3D City Models from Aerial and Satellite Data. *GeoInformatics* no. 3.
- Różycki S., 2006. Trójwymiarowe modele miast w sieci Internet. *Roczniki Geomatyki – 2006*, tom IV, zeszyt 3.
- Ulm K., 2005. 3D City Models from Aerial Imagery - Integrating Images and the Landscape. *GEOInformatics* Jan/Feb 2005, Volume 8.
- Ulm K., 2004. Virtuelle 3D-Stadtmodelle – Technologie und Anwendung, *Geobit* no. 8, 2004.
- Ulm K., 2003. Improved 3D City Modeling With Cybercity Modeler using Aerial, Satellite Imagery and Laserscanner Data, *International Archives of the Photogrammetry*. Vol. XXXIV-5/W10.

Ulm K., Steidler F., Wang X., 2005. 3D City models in the Web-based 3d-GIS  
www.Map3Day.at. Konferencja użytkowników ESRI, San Diego, USA.  
Geo-System. 2007: <http://www.geo-system.com.pl>  
Harris Corp. 2007: <http://www.harris.com>

### **3D CITY MODELS –GENERATION AND APPLICATIONS**

KEY WORDS: 3d City Models, 3D-Visualisation, IKONOS, spatial analysis

SUMMARY: The need for photo realistic visualisation of 3D City Models is growing for many applications like urban planning, telecommunication planning and homeland security. Author of the present article analyses the general trends relating to 3D City Models. The author has described data types of data (aerial and satellite images, topographic data base, digital surface models, airborne laser data) and software for generation of 3D City Models (ArcGIS, Erdas Imagine/LPS, Cyber City Modeller and Terrain View). Also, the results of experimental generation of the three-dimensional model of Krakow City are presented. This model has been generated with the aid of stereo satellite images from IKONOS. The author has shown the real benefits of three-dimensional city models for tourism and homeland security.

mgr inż. Sebastian Różycki  
e-mail: [s.rozycki@gik.pw.edu.pl](mailto:s.rozycki@gik.pw.edu.pl)  
telefon: 0 22 234 73 58