

ZASTOSOWANIE ZDJEĆ LOTNICZYCH DO TWORZENIA MODELU 3D MIASTA NA PRZYKŁADZIE MIECHOWA*

APPLICATION OF AERIAL PHOTOS IN CREATING A 3D TOWN MODEL. AN EXAMPLE BASED ON THE TOWN OF MIECHÓW

Bogusława Kwoczyńska, Krzysztof Kozik, Karolina Lech

Katedra Geodezji Rolnej, Katastru i Fotogrametrii,
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

SŁOWA KLUCZOWE: zdjęcie lotnicze, wizualizacja, model 3D

STRESZCZENIE: Ostatnie kilka lat wskazuje na rosnące zainteresowanie budowaniem trójwymiarowych modeli miast. Źródłem danych do tworzenia modeli 3D budynków mogą być stereogramy zdjęć lotniczych, obrazów satelitarnych o dużej rozdzielczości oraz dane pochodzące ze skaningu laserowego. W publikacji przedstawiono przykład wykorzystania panchromatycznych zdjęć lotniczych wykonanych w skali 1:13 000 i zeskanowanych z pikselem o rozdzielczości 14 μm , do zbudowania trójwymiarowego modelu miasta Miechowa. Zorientowanie stereogramów oraz wygenerowanie Numerycznego Modelu Terenu przeprowadzono na fotogrametrycznej stacji cyfrowej Delta firmy GeoSystem. Dokładność NMT określono przez średni błąd wyinterpolowanej wysokości $m_{\text{NMT}} = 0.24$ m. Dane niezbędne do stworzenia brył budynków (obrysy dachów oraz wysokość przyziemia) pozyskane zostały w trakcie pomiaru na fotogrametrycznej stacji cyfrowej. Dane te zapisano w postaci pliku .dxf i zaimportowano do programu AutoCAD, gdzie nastąpiło opracowanie uproszczonego (bez naniesienia oryginalnych tekstur fasad budynków) modelu 3D miasta Miechowa. W efekcie końcowym wygenerowano krótki film, który stanowi wirtualny spacer po „cyfrowym” Miechowie.

1. WPROWADZENIE

W ostatnich dziewięciu latach obecnego stulecia dominuje rozwój nauk i technologii informatycznych oraz wzrost świadomości ludzkiej odnośnie otaczającego nas środowiska. Wyraźnie widoczne jest rosnące zapotrzebowanie na dokładne dane o ukształtowaniu powierzchni terenu, a także obiektów na niej usytuowanych. Dwuwymiarowy sposób przekazu danych wywodzący się z kartografii jest dla człowieka mniej oczywisty

niż model trójwymiarowy, który odzwierciedla ludzką percepcję rzeczywistości. Dlatego też, wykorzystując postęp technologiczny zarówno w zakresie pozyskiwania i przetwarzania danych przestrzennych, systemy informacji geograficznej rozwijane są w kierunku trzeciego wymiaru (GIS 3D) (Cisło, 2008).

Obecnie najbliższy GIS 3D jest, rozwijany od 2003 r., projekt trójwymiarowego miasta Berlina, stanowiący połączenie dwu- i trój-wymiarowych danych przestrzennych. W Polsce przykładem takiego rozwiązania są projekty zrealizowane między innymi w Warszawie, Stargardzie Szczecińskim, Radomiu, Szczecinie i Białymstoku. Model 3D Berlina oparty jest na *City Geography Markup Language* (CityGML), będącym schematem aplikacyjnym międzynarodowego standardu dla geoinformacji – *Geography Markup Language 3* (GML3), przeznaczonym do modelowania miasta 3D (Kolbe *et al.*, 2006). CityGML w sierpniu 2008 r. uzyskał status OpenGIS® Encoding Standard (OGC, 2008).

Dzięki powstałemu w 2004 roku w Komorowie (Polska), Satelitarnemu Centrum Bacharach Operacji Regionalnych, które to między innymi wykonuje rejestrację scen stereoskopowych, buduje się modele 3D miast na poziomie Level 0 według systematyki CityGML. Modele te są głównie wykorzystywane dla potrzeb telefonii komórkowej. Wykonane naloty z wykorzystaniem skaningu laserowego dla Wrocławia, Krakowa i Warszawy są również bardzo dobrym materiałem do zbudowania 3D modeli miast. Jak dotąd Firma SCOR S.A. wykonała modele dla największych miast w Polsce i planuje sprzedawać swoje technologie za granicą.

2. DANE ŹRÓDŁOWE DO TWORZENIA MODELU 3D MIASTA MIECHOWA

Sporządzanie wysokościowych modeli budynków miast możliwe jest nie tylko na podstawie stereopar obrazów satelitarnych o bardzo dużej rozdzielczości oraz danych ze skaningu laserowego, ale również na podstawie stereogramów zdjęć lotniczych, czego potwierdzeniem jest praca dyplomowa Krzysztofa Kozika i Karoliny Lech (2009), powstała w Katedrze Fotogrametrii i Teledetekcji Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie pod kierunkiem Bogusławy Kwoczyńskiej, a będąca źródłem niniejszej publikacji.

Potencjał kartograficzny wysokorozdzielczych obrazów satelitarnych typu Ikonos czy QuickBird z pikselem zbliżonym do 1m odpowiada potencjałowi zdjęć lotniczych w skali 1:25 000 – 1:35 000 (Kurczyński, 2006). Dokładność modeli wysokościowych budynków opartych na stereoparach zdjęć lotniczych wynosi około 20 cm, a w przypadku obrazów satelitarnych wynosi około 1-2 metra (Ulm, 2003).

Lotniczy skaningu laserowy pozwala na wyznaczenie Numerycznego Modelu Pokrycia Terenu i wtórnie do wygenerowania Numerycznego Modelu Terenu o praktycznie najwyższej dokładności dla dużych powierzchni terenu. Dane pomiarowe z ALS (ang. *Airborne Laser Scanning*) obszarów zurbanizowanych po ich przetworzeniu pozwalają w sposób wysoce zautomatyzowany budować modele 3D miast. Dane te można łatwo łączyć z obrazami cyfrowymi tworząc modele 3D miast bardziej realistyczne lub wręcz produkt nowej generacji, jakim jest ortofoto rzeczywiste (True Ortho) (Preuss, 2007).

Proces pozyskania danych lidarowych 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 (Różycki, 2007).

Do zbudowania trójwymiarowego modelu miasta Miechowa w opracowaniu wykorzystano stereopary panchromatycznych zdjęć lotniczych wykonanych kamerą RC 20 o $c_k=153$ mm w skali 1:13 000 w marcu i kwietniu 2003 roku. Zdjęcia były zeskanowane z pikselem 14 μ m.

Zorientowanie stereogramów przeprowadzono na fotogrametrycznej stacji cyfrowej Delta firmy GeoSystem z wykorzystaniem modułu Model. W wyniku orientacji wewnętrznej otrzymano średnią wartość $V_x=6.9$ μ m, a $V_y=5.5$ μ m.

Błędy szczałkowe paralaksy poprzecznej (p_y) uzyskane w orientacji wzajemnej dla wszystkich stereogramów były mniejsze od 1.3 μ m. Orientacje zostały wykonane manualnie i przeprowadzone na 6 punktach.

Orientację absolutną każdego stereogramu wykonano na 4 fotopunktach naturalnych uzyskując średnie wartości błędów na fotopunktach $m_x=\pm 0.08$ m, $m_y=\pm 0.25$ m i $m_z=\pm 0.14$ m (Kozik, Lech, 2009).

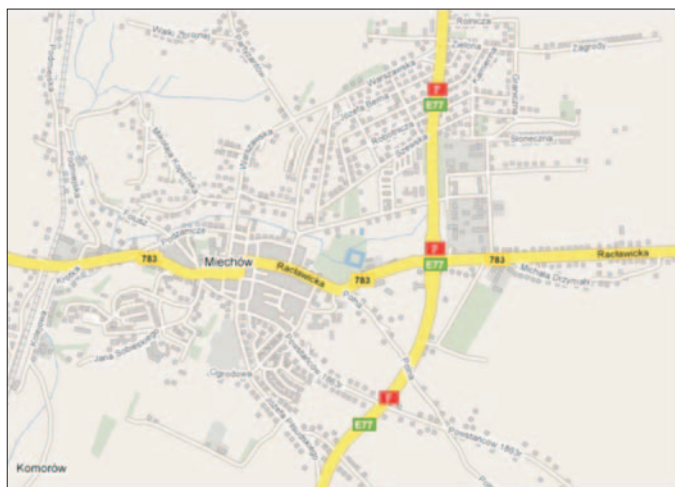
3. CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU BADAŃ

Miechów jest miastem położonym w południowej Polsce, w województwie małopolskim. Jest siedzibą gminy miejsko-wiejskiej w powiecie miechowskim. Miechów posiada zwartą, w większości niską zabudowę, dominują tutaj domy jednorodzinne, mniejszością są budynki wielorodzinne (bloki mieszkalne). W centrum miasta znajduje się średniowieczny rynek otoczony zabytkową zabudową (Rys. 1).

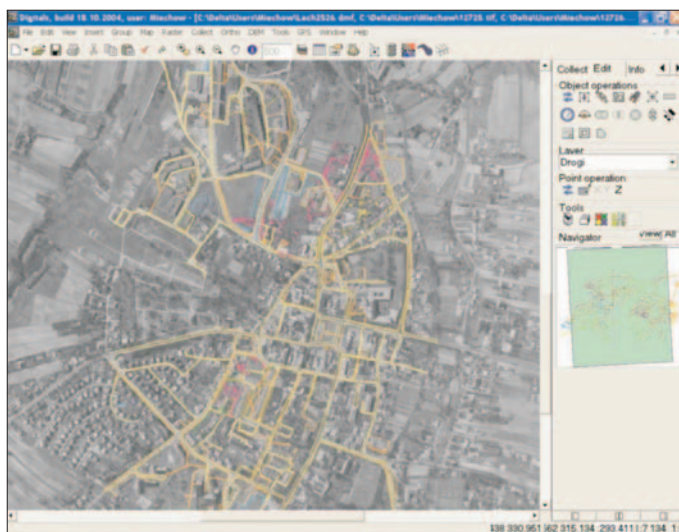
4. NUMERYCZNY MODEL TERENU MIECHOWA

Numeryczny Model Terenu niezbędny do opracowania modelu 3D miasta Miechowa powstał na podstawie pomiaru wykonanego na stereogramach obejmujących teren mieszczący się w administracyjnej granicy Miechowa. Na fotogrametrycznej stacji cyfrowej Delta pomierzone zostały sytuacyjnie i wysokościowo podstawowe elementy infrastruktury (drogi, chodniki, budynki), elementy nieciągłości terenu (skarpy), granice wyłączeń (ciek wodny) oraz zadrzewienia występujące na zadanym obszarze (Rys. 2).

Dla całego obiektu automatycznie wygenerowano Numeryczny Model Terenu o oczku 20 m. Weryfikację punktów odstających przeprowadzono w module Mapping.



Rys. 1. Mapa Miechowa.



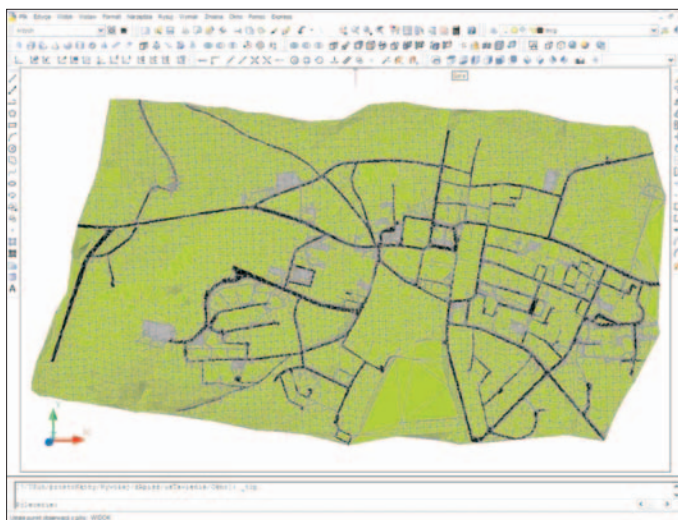
Rys. 2. Fragment NMT Miechowa.

Dokładność NMT określono poprzez średni błąd wyinterpolowanej wysokości, który wyniósł $m_{NMT}=0.24$ m.

Uzyskany w ten sposób NMT został zapisany w postaci pliku .dxf w celu dalszego opracowania modelu 3D w programie AutoCAD.

5. BUDOWA WYSOKOŚCIOWYCH MODELI BUDYNKÓW W PROGRAMIE AUTOCAD

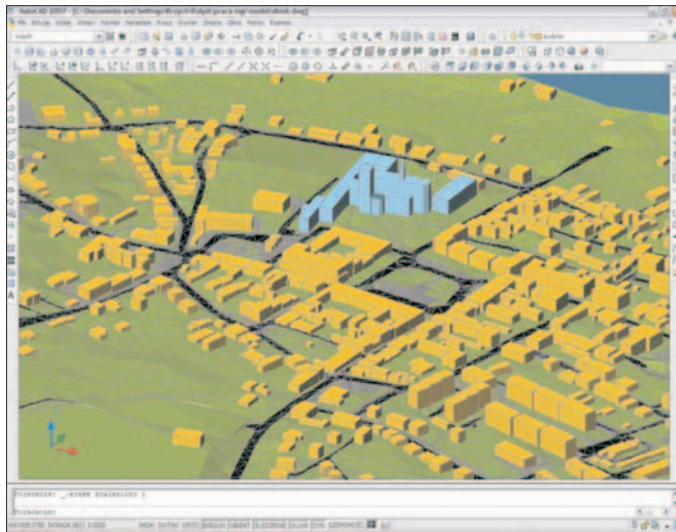
Przed przystąpieniem do pozyskiwania wysokościowych modeli budynków należy dokonać dokładnej rekonstrukcji modelu terenu. Program AutoCAD wymaga w tym celu stworzenia powierzchni terenu, która najczęściej złożona jest z siatki trójkątów najwierniej oddającej rzeźbę terenu. Aby model był poprawny należy dodatkowo określić parametry, według których dobierane są wierzchołki trójkątów. Muszą cechować się one możliwie jak największą równobocznością, małymi kątami i krótkimi bokami. Dodatkowo program powinien uwzględnić wszystkie punkty modelu do tworzenia siatki. Biorąc pod uwagę znaczne deniwelacje na obszarze opracowania, stworzono powierzchnię kierując się wyżej wymienionymi zasadami (Rys. 3).



Rys. 3. Okno programu AutoCAD – utworzona powierzchnia modelu dla Miechowa.

Dane wejściowe do stworzenia brył budynków pozyskane zostały podczas pomiaru na fotogrametrycznej stacji cyfrowej Delta. Stanowiły je obrysy budynków w postaci wieloboków osadzonych na wysokości mierzonych elementów (dach budynku). Wynikiem pomiaru dachów budynków był zbiór punktów (x,y,z) charakteryzujący ich strukturę. Ściany boczne budynków powstały poprzez automatyczne rozciągnięcie poligonu tworzącego dach do powierzchni Numerycznego Modelu Terenu wykorzystując funkcję *Wyciągnij*. W ten sposób utworzono jednocześnie wszystkie domy, co widoczne jest na rysunku 4.

Podczas rysowania dachów budynków na modelu pracę znacznie ułatwiało zastosowanie funkcji „*wprowadzanie dynamiczne*”, dzięki której wiele spośród wykorzystywanych narzędzi programu AutoCAD posiadało dodatkowe opcje.

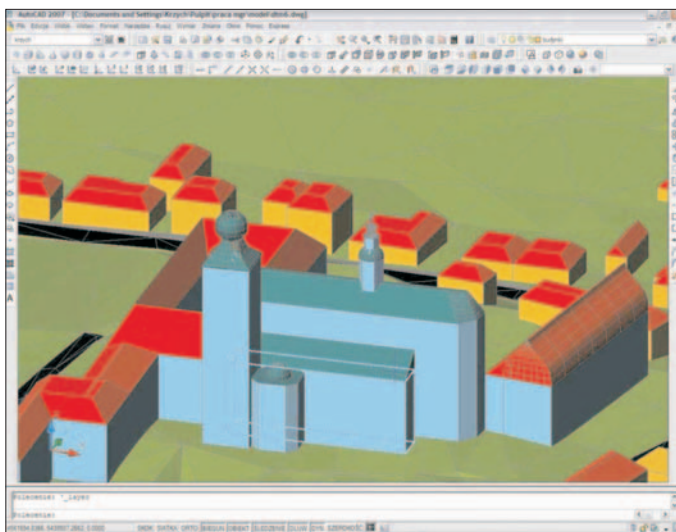


Rys. 4. Okno programu AutoCAD – bryły budynków w widoku izometrycznym.

Po zaznaczeniu kilku górnych powierzchni budowli i wybraniu polecenia *Wyciągnij*, konieczne następnie było określenie „kąta zwężenia” o jaki należało zwęzić wyciąganą powierzchnię dachu aż do kalenicy oraz podanie wysokości wyciągnięcia. Powyższe parametry były różne, a wynikały z różnorodności kształtów budynków. Ze względu na mnogość form, nie wszystkie dachy były wykonane tą metodą. Niektóre z nich należało „wyciągnąć” jako bryły proste (czyli bez zwężania), a następnie za pomocą narzędzia *Fazuj* nadać im żądaną postać. Przykłady dachów budynków stworzonych na modelu przedstawia rysunek 5.

Utworzone przy pomocy programu AutoCAD modele budynków stanowią uproszczony model 3D miasta Miechowa. Budynki zostały przedstawione w postaci elementarnych brył z pominięciem szczegółów, z wyjątkiem Katedry Bożogrobowców jako dominanty. Ze względu na duży obszar opracowania zrezygnowano z „nakładania” tekstur, zastosowano jedynie różnorodną paletę barw dla każdego typu obiektu. Pozyskiwanie oryginalnych tekstur fasad budynków możliwe jest poprzez wykorzystanie zdjęć niemetrycznych, jak również zdjęć lotniczych i satelitarnych. Jednak budowa takiego modelu pociąga za sobą duży rozmiar pliku, jak również konieczność posiadania komputera o dużej mocy obliczeniowej.

W celu pełniejszego oddania realnego wyglądu miasta w miejscach występowania roślinności wprowadzone zostały na modelu elementy zieleni. Dane niezbędne do ich rozlokowania zostały pozyskane na fotogrametrycznej stacji cyfrowej Delta. Były to wieloboki o nieregularnych kształtach, które wskazywały miejsca, w jakich miały znajdować się modele drzew. Same modele drzew stworzono wykorzystując funkcję *Przekręć* przy obrocie płaskiego obiektu wokół własnej osi obrotu. Rozmieszczenie elementów zieleni na modelu ilustruje rysunek 6.

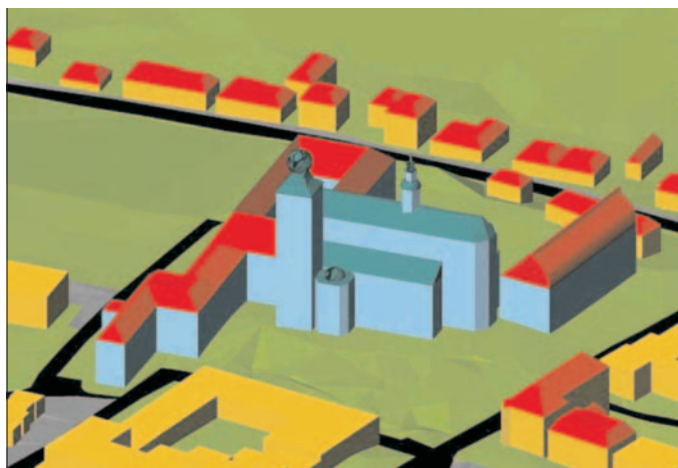


Rys. 5. Okno programu AutoCAD – dachy budynków.



Rys. 6. Elementy zieleni na modelu.

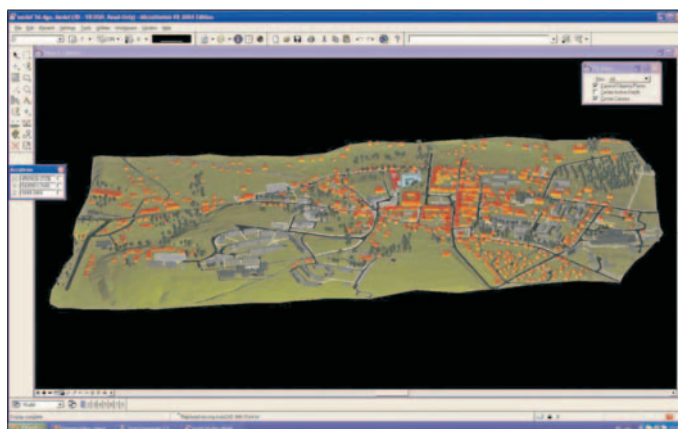
Efektem końcowym opracowania było wygenerowanie krótkiego filmu, który stanowił wirtualny spacer po „cyfrowym” Miechowie. W tym celu wykorzystano w programie AutoCAD, proste narzędzie do tworzenia animacji, podczas której kamera może poruszać się po wybranej ścieżce lub pozostawać w spoczynku. Cel kamery może być nieruchomy lub zmieniać się w czasie trwania przelotu. Do animacji modelu wykorzystano standardowe ustawienia renderingu wybierając formę prezentacyjną (Rys. 7).



Rys. 7. Renderowanie w stylu prezentacyjnym.

Plik wyjściowy został zapisany do formatu AVI (ang. *Audio Video Interleave*) o rozdzielczości 800x600 pikseli. Stworzono kilka animacji, które po połączeniu utworzyły dwuminutowy film, który można obejrzeć na dowolnym odtwarzaczu multimedialnym.

Opracowany model 3D miasta Miechowa przedstawia rysunek 8.



Rys. 8. Model 3D miasta Miechowa.

6. WYKORZYSTANIE TRÓJWYMIAROWYCH MODELI MIAST

Aglomeracje miejskie, jak również coraz większa liczba mniejszych miast na całym świecie, posiada lub dąży do stworzenia modeli 3D miast. Powszechnie panującą tenden-

cją jest opracowanie wizualizowanych map przestrzennych, wiernie oddających nie tylko wymiary obiektów, ale również ich rzeczywisty wygląd. Użyteczność modeli 3D miast w wielu dziedzinach jest ogromna. Zwizualizowana mapa przestrzenna dostarcza danych przestrzennych o charakterze geodezyjnym oraz pomaga w zarządzaniu miastem. Z modeli 3D korzystają projektanci i architekci np. do wpasowania nowych budynków w istniejącą zabudowę. Jednocześnie modele 3D są wykorzystywane w edukacji i turystyce.

Modele 3D mogą mieć również zastosowanie między innymi przy:

- sporządzaniu projektów studiów uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego oraz projektów miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego,
- planowaniu oraz projektowaniu nowych inwestycji (np. Warszawa),
- symulacji klęsk żywiołowych, zarządzaniu w sytuacjach kryzysowych,
- opracowaniu map akustycznych,
- ochronie zabytków (np. zamek w Chęcinach),
- projektach telekomunikacyjnych (np. zakłady chemiczne w Policach),
- tworzeniu serwisów lokalizacyjnych oraz nawigacji samochodowej.

Modele 3D stosuje się również w ochronie środowiska do stworzenia map przykładowego rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń.

Służby kryzysowe i policja korzystają z tych modeli do symulacji akcji ratunkowych. Należą do nich m.in. planowanie ewakuacji ludności w przypadku powodzi, zamachów terrorystycznych lub wojny. Możliwe jest również określenie najkrótszej drogi przejazdu karetek, wozów strażackich oraz ważnych delegacji.

Miasta wykorzystują modele 3D do promocji swoich regionów. Powszechne są animacje, wizualizacje oraz filmy promujące atrakcyjne turystycznie miejsca umieszczone na stronach internetowych (np. modele 3D miasta Warszawy, Poznania, Krakowa, Wrocławia).

7. PODSUMOWANIE

Kandydowanie, a następnie członkostwo Polski w Unii Europejskiej stworzyło warunki do rozwoju polskich firm geodezyjnych i modyfikacji stosowanych przez nie technologii fotogrametrycznych. Opóźnienie technologiczne względem podobnych firm w krajach Unii Europejskiej, jakie miało jeszcze miejsce w latach 90. poprzedniego stulecia, całkowicie się zatarło. W firmach tych, podobnie jak na Zachodzie, stosowane są najnowsze technologie pozwalające na budowanie trójwymiarowych modeli miast nie służących jedynie do prostych wizualizacji. Dostępne oprogramowanie pozwala przeprowadzać analizy przestrzenne na zbiorach 3D, a najciekawszymi produktami na rynku oferującymi takie możliwości są programy InReality i Urban Analyst. Programy te są wykorzystywane m. in. podczas sytuacji kryzysowych. Opracowanie modeli 3D miast możliwe jest też na podstawie łatwo dostępnych materiałów (zdjęć lotniczych) i mniej skomplikowanego oprogramowania typu MicroStation i AutoCAD dających takie same efekty, czego dowodem jest powyższa publikacja.

8. LITERATURA

- Cisło U., 2008. Zarys koncepcji trójwymiarowej wielorozdzielczej bazy topograficznej. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 18a, s. 49-57.
- Kolbe T.H., Bacharach S., 2006. CityGML: An Open Standard for City Models. *Directions Magazine*, 3 lipiec 2006, www.directionsmag.com
- Kozik K., Lech K., 2009. *Opracowanie modelu 3D miasta Miechowa w oparciu o dane pozyskane na fotogrametrycznej stacji cyfrowej Delta*. Praca dyplomowa napisana pod kierunkiem dr inż. Bogusławy Kwoczyńskiej, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie.
- Kurczyński R., 2006. *Lotniczy skaning laserowy (LIDAR)*. <http://www.geoforum.pl>
- Open Geospatial Consortium, 2008. OpenGIS® City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard, <http://www.opengeospatial.org>
- Preuss R., 2007. Uwarunkowania rozwoju fotogrametrii w Polsce. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 17b, s. 671-679.
- Różycki S., 2007. Trójwymiarowe modele miast tworzenie i zastosowania. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 17b, s. 709-716.
- 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.

APPLICATION OF AERIAL PHOTOS IN CREATING A 3D TOWN MODEL. AN EXAMPLE BASED ON THE TOWN OF MIECHÓW

KEY WORDS: aerial photo, visualization, 3D model

SUMMARY: In recent years there has been growing interest in constructing 3D models of towns. The sources of data for the generation of 3D models can be stereograms of aerial photos, high resolution satellite images and data obtained from laser scanning. This paper presents an example of the application of panchromatic aerial photos carried out at a scale of 1:13 000 and scanned with a pixel resolution 14 μm to create a 3 dimensional model of the town of Miechów. The orientation of the stereograms and the generation of the Digital Terrain Model were performed on the photogrammetric digital station Delta produced by GeoSystem. The accuracy of the DTM was determined by the mean square error of interpolated height mDTM= 0.24 m. The data necessary to create the building structures (outlines of roofs and heights of ground floors) were obtained from measurements on digital station. The dataset obtained was saved in a .dxf file and imported to AutoCAD, where simplified processing of the 3D model of the town of Miechów was performed (without taking into account the rendering textures of the original facades of buildings). Finally a short film, which is a virtual walk around the digital town of Miechów, was created.

dr inż. Bogusława Kwoczyńska
rmkwoczy@cyf-kr.edu.pl
telefon: +48 12 6624505
fax: +48 12 6624503

mgr inż. Krzysztof Kozik
jozef.k@gmail.com
mgr inż. Karolina Lech
kala20.lech@interia.pl

* wersja kolorowa artykułu jest dostępna na stronie <http://www.sgp.geodezja.org.pl/pftfit>