

# Rola fotogrametrii w funkcjonowaniu systemów informacji przestrzennej

Ryszard Preuss

## 1. Wprowadzenie

Systemy informacji przestrzennej służą do pozyskiwania, archiwizowania, przetwarzania i prezentowania danych, opisujących relacje pomiędzy obiektami świata rzeczywistego. Pod pojęciem GIS (Systemy Informacji Geograficznej) rozumiane są różnorodne organizacyjno-techniczne systemy służące do zarządzania gospodarką, planowania przestrzennego, ochrony środowiska itp.

W większości systemów GIS/LIS relacje przestrzenne pomiędzy obiektami są wyrażane w układzie współrzędnych płaskich XY. Tak zorganizowana baza danych jest fachowo określana jako baza typu 2D. W praktyce pełną bazę typu 3D tworzy się jedynie dla prac o charakterze inwentaryzacyjno-projektowym (np. dla prowadzenia budowy obiektów przemysłowych). Dla zadań wymagających trzeciego wymiaru najczęściej wykorzystywane są bazy typu 2D + 1D.

Przy tworzeniu i aktualizacji wymienionych typów baz danych, z powodzeniem stosowane są różnorodne technologie fotogrametryczne.

Lotnicze zdjęcie panchromatyczne wykonane przez Państwowe Przedsiębiorstwo Geodezyjno-Kartograficzne z Warszawy



Fotogrametrię zaliczamy do metod teledetekcyjnych zajmujących się równocześnie rozpoznawaniem obiektów oraz określeniem ich lokalizacji. Zarejestrowane w sposób pośredni na zdjęciu lotniczym lub satelitarnym informacje o obiekcie są, poprzez interpretację i przetwarzanie geometryczne, zamieniane na interesującą nas wynikową postać informacji obiektowej.

Współcześnie technologie fotogrametryczne bazują całkowicie na numerycznych metodach pomiaru i opracowaniach realizujących:

- aerotriangulację,
- pomiar DTM,
- stereodigitalizację,
- ortofotografię cyfrową.

O zakresie zastosowań poszczególnych metod decydują głównie takie czynniki jak:

- możliwości klasyfikacji obiektów przestrzennych,
- efektywność i niezawodność pozyskiwania,
- typ pozyskiwanych danych (wektorowe, rastrowe),
- dokładność pozyskiwanych danych.

## 2. Postać danych źródłowych

Danymi źródłowymi dla opracowań fotogrametrycznych mogą być obrazy cyfrowe pozyskiwane z pułapu satelitarnego lub lotniczego (SPOT, MOMS, CCD-kamery) oraz zdjęcia lotnicze wykonywane z różnych nośników: samolotów, helikopterów, motolotni (Ultra-Light Aircraft) i modeli zdalnie sterowanych.

Obrazy satelitarne wykorzystywane dla celów cywilnych charakteryzują się ograniczoną rozdzielczością, która np. dla systemu SPOT w paśmie panchromatycznym wynosi ok. 10 m. **Najwyższą rozdzielczością dochodzącą do 2 m charakteryzują się rosyjskie zdjęcia kosmiczne.** Cytowana rozdzielczość determinuje zakres wykorzystania obrazów satelitarnych dla celów planowania ogólnego. Główną zaletą tych obrazów jest duża częstotliwość ich wykonywania oraz multispektralny charakter rejestracji pozwalający na prowadzenie szeregu analiz tematycznych zarejestrowanego obszaru.

Zdjęcia lotnicze są wykorzystywane głównie do celów pomiarowych i interpretacyjnych w dużych skalach opracowania (tzn. większych od 1: 10 000). Dla rozszerzenia możliwości interpretacyjnych zdjęcia lotnicze wykonywane są na materiałach uczulonych w różnych zakresach promieniowania elektromagnetycznego (panchromatyczne, spektrostrefowe, w barwach naturalnych lub w podczerwieni). Rodzaj ma-

teriału światłoczułego dobierany jest do przyszłego zakresu opracowania tematycznego, jakie ma powstać na podstawie wykonywanych zdjęć. Większość zdjęć lotniczych służy wektorowemu opracowaniu numerycznemu, bazującemu na stereodigitalizacji modeli, zrekonstruowanych z wykorzystaniem autografów analitycznych. Natomiast autograf cyfrowy umożliwia realizację stereodigitalizacji na podstawie modeli utworzonych z obrazów rastrowych. W efekcie w wyniku procesu opracowania fotogrametrycznego na autografie analitycznym dostarczane są dane dla systemów GIS w postaci wektorowej, natomiast autografy cyfrowe mogą dostarczać dane w obydwu postaciach (również rastrowej). Obserwujemy również tendencje do integracji stacji fotogrametrycznej z systemem GIS. Przykładem takiego rozwiązania jest stacja AP-S9 firmy Prime.

**Dla niewielkich obszarów efektywne staje się stosowanie rejestracji za pomocą aparatów semimetrycznych z modeli latających sterowanych radiem.** Ostatnio aparaty takie wyposaża się w matryce CCD dające możliwość bezpośredniego pozyskiwania danych w postaci cyfrowej. Ten sposób pozyskiwania jest ok. 10-krotnie tańszy od standardowych zdjęć lotniczych i ponadto może być wykonany z niskiego pułapu (poniżej 300 m), co pozwala ominąć wymagany tryb postępowania w przypadku wykonywania nalotu fotogrametrycznego.

### 3. Stosowane technologie opracowania

Aktualnie fotogrametria wykorzystuje całkowicie numeryczne metody dla prezentowania relacji geometrycznych na powierzchni terenu zarejestrowanej na zdjęciach pomiarowych. Relacje sytuacyjne mogą być określane poprzez tworzenie numerycznej mapy wektorowej lub w zapisie rastrowym poprzez wytworzenie cyfrowej ortofotomapy. Odtworzenie ukształtowania powierzchni topograficznej terenu w metodach numerycznych osiągnięte jest poprzez utworzenie modelu cyfrowego w postaci dyskretnej ze znanym modelem interpolacyjnym, który jest nazywany Numerycznym Modelem Terenu (DTM).

#### 3.1. Numeryczny Model Terenu (DTM)

Ukształtowanie pionowe terenu przy zastosowaniu fotogrametrycznych technik numerycznych może być określane poprzez:

- bezpośredni pomiar warstwicowy,
- dynamiczną rejestrację przekrojów,
- pomiar wysokości w regularnej siatce sytuacyjnej.

Dwa ostatnie sposoby pozyskiwania są preferowane w przypadkach dalszego komputerowego wykorzystania danych. Oprogramowanie do pozyskiwania DTM na autografie analitycznym pozwala na stosowanie wszystkich wyżej wymienionych technik, jednak obserwacje są głównie wykonywane statycznie, w regularnej siatce, co daje prawie dwukrotnie dokładniejsze rezultaty od pozostałych sposobów.

W niektórych autografach analitycznych (np. DSR-15 firmy Kern - obecnie Leica), dla wyznaczania punktów DTM oraz wykonywania orientacji wzajemnej modelu, wykorzystywane są obrazy cyfrowe fragmentów zdjęć lotniczych rejestrowane standardowymi kamerami CCD. Do wspomnianych operacji wykorzystuje się algorytmy bazujące na korelacji obrazów. Ostatnio firmy oferujące autografy cyfrowe (Intergraph Image Station) do pakietu oprogramowania dołączają programy do automatycznego generowania wysokościowego modelu tere-



Lotnicze zdjęcie panchromatyczne wykonane przez Państwowe Przedsiębiorstwo Geodezyjno-Kartograficzne z Warszawy

nu oparte na korelacji obrazów (MATCH-T). Proces ten jest oparty na zasadzie „piramidy” - stopniowej zmiany wymiarów pikseli w procesie korelacji i może przebiegać w sposób całkowicie automatyczny. Uzyskany w tym rozwiązaniu model terenu charakteryzuje się dużą dokładnością dzięki dużemu zagęszczeniu wyznaczanych punktów. Czas generowania numerycznego modelu za pomocą wspomnianego oprogramowania na komputerach wyposażonych w procesory typu RISC nie przekracza 1 godziny, przyczyniając się do znacznego przyspieszenia całego cyklu opracowania numerycznego na takim autografie.

Precyzja Numerycznego Modelu Terenu jest funkcją: zastosowanej metody pozyskiwania, zastosowanej gęstości rejestracji danych i charakteru ukształtowania terenu. Metody pomiaru bezpośredniego i metody fotogrametryczne dają zbliżone dokładności przy zastosowaniu skali zdjęć lotniczych ok. 1:4000. Tak więc o wyborze metody pozyskiwania decyduje głównie wielkość opracowywanego obszaru. Dla dużych terenów najefektywniejsze jest stosowanie metod fotogrametrycznych (poprzez pomiar punktów w regularnej siatce) i automatycznej korekcji w obrazach cyfrowych. Metody te są również najkorzystniejsze ze względów dokładnościowych. W praktyce osiągnięta jest dokładność wyznaczania wysokości  $m_h = +0,015\%$ .

DTM w systemach GIS/LIS stanowi najczęściej oddzielną warstwę, która jest wykorzystywana do analiz i prezentacji graficznych poprzez tworzenie:

a) rysunku warstwicowego. Warstwicę są obliczane na drodze interpolacji dla zadanego skoku warstwicowego z wykorzystaniem informacji geomorfologicznych (linii szkieletowych). Dla terenów płaskich wprowadzane są podinterwały jako war-

stwie pośrednie. Dla uzyskania wysokiej jakości warstw postulowane jest użycie interpolacji biliniowej.

b) profili wysokościowych. DTM pozwala na interpolacje pojedynczych wysokości i dowolnych profili wysokościowych wewnątrz obszaru DTM. Profile podłużne i poprzeczne są obliczane wzdłuż osi, których położenie jest zdefiniowane przez przypisanie prostoliniowego elementu, łuku i kłoidy. Wyniki obliczeń tych profili zawierają wysokości punktów o wybranym odstępnie między nimi wzdłuż osi profili. Dodatkowo obliczane są również wysokości punktów przecięcia osi profili z liniami szczególnymi.

Dane tych profili mogą być prezentowane graficznie, jak również w postaci cyfrowej i są wykorzystywane do bezpośredniego projektowania.

c) rysunków aksonometrycznych i perspektywicznych. Możliwe jest sporządzanie trójwymiarowych prezentacji perspektywicznych lub projekcji równoległych (również ukośne w stosunku do rzutni). Możliwe jest również sporządzanie map widoczności. Projekcja perspektywiczna może być modelowana przez wybór punktu i kierunku widzenia, rozmiaru obrazu oraz długości ogniskowej. W ten sposób sporządzany jest rysunek prezentujący wszystkie linie szczególnie (nieciągłości, szkieletowe i graniczne).

d) map spadków, pochyleń i ekspozycji. Nachylenie terenu jest obliczane dla każdego punktu DTM i zapisywane jest do DSM, który ma taką samą strukturę danych jak DTM, stąd też może być prezentowany w formie np. izolacji spadków przez specjalny moduł programowy.

Mapy spadków można również tworzyć poprzez „koloryzowane kreskowanie” klas spadków. Istnieje możliwość wyboru zakresu klas, gęstości kreskowania i kolorów pisaków dla osiągnięcia poprawnej prezentacji graficznej.

W metodach fotogrametrycznych DTM wykorzystywane jest do przygotowania danych dla ortofotograficznego przetwarzania zdjęć lotniczych i obrazów satelitarnych.

### 3.2. Wektorowa mapa sytuacyjna

Aby umożliwić stereodigitalizację, wykonuje się na podstawie pary zdjęć rekonstrukcję modelu przestrzennego terenu na autografii analogowej, analitycznej lub cyfrowej, a następnie poprzez interpretację i pomiar określa się lokalizację wybranych obiektów w zewnętrznym układzie odniesienia. Do wykonania stereodigitalizacji zdjęć lotniczych na instrumentach fotogrametrycznych można wykorzystywać bezpośrednio oprogramowanie, w którym docelowo będzie prowadzony system informacji przestrzennej (np. MICROSTATION, ARC/INFO), co znacznie ułatwia transfer danych i zakładanie lub aktualizację bazy danych w systemie.

### 3.3. Cyfrowa ortofotografia

Technika cyfrowej ortofotografii pozwala przetworzyć obraz utworzony w dowolnej projekcji (np. zdjęcia lotnicze wykonane w rzucie środkowym) na obraz wynikowy w odwzorowaniu ortogonalnym. Do procesu korekcji geometrycznej wpływu orientacji zewnętrznej oraz deniwelacji terenu określane są wcześniej parametry orientacji zewnętrznej oraz Numeryczny Model Terenu.

Samo przetwarzanie, ze względu na ilość danych (pikseli) podlegających obróbce, wykonywane jest na wyspecjalizowanych stacjach roboczych za pomocą pakietów oprogramowania (np. ORTOMAX lub PHODISOP), pozwalających w sposób całkowicie automatyczny generować cyfrowe ortofotoma-

py w czasie poniżej 30 min. Obrazy ortofotograficzne w formie cyfrowej stanowią często jedną z warstw w bazie danych.

### 3.4. Metoda monoplotingu

Ostatnio zaproponowano nowy sposób przetwarzania informacji zawartych na pojedynczych zdjęciach lotniczych. Polega on na digitalizacji treści (obiektów) bezpośrednio na zeskanowanych zdjęciach wyświetlanych na monitorze. Proces ten lokalizuje obiekty przestrzennie (wyznacza współrzędne punktów wskazywanych kursorem na ekranie) dzięki uwzględnieniu znanych elementów orientacji zewnętrznej zdjęcia oraz DTM.

Posiadanie oprogramowania realizującego tę technikę w systemie informatycznym pozwala w łatwy sposób interpretować treść zawartą na zdjęciu oraz przenosić lokalizację wyodrębnionych obiektów bezpośrednio do bazy systemu. Ta metoda może być więc wykorzystywana przez bezpośrednich użytkowników przestrzennych systemów informacyjnych.

### 4.1. Pozyskiwanie danych pierwotnych

Należy podkreślić, że o sukcesie zastosowań każdego systemu decydują dane. Większość nakładów finansowych związanych z funkcjonowaniem systemów GIS/LIS pochłania tworzenie, a następnie aktualizacja baz danych (ok. 90 %).

Forma rejestracji danych zależy głównie od stopnia szczegółowości i zakresu zastosowań systemu. Dla celów katastralnych, komunalnych i zaopatrzenia w energię stosuje się dane w formie wektorowej. Dla globalnych systemów bazy są zorganizowane w formie rastrowej. Natomiast dla celów planowania regionalnego, ochrony środowiska czy map kartograficznych stosowana jest grafika hybrydowa (wektorowa i rastrowa jednocześnie).

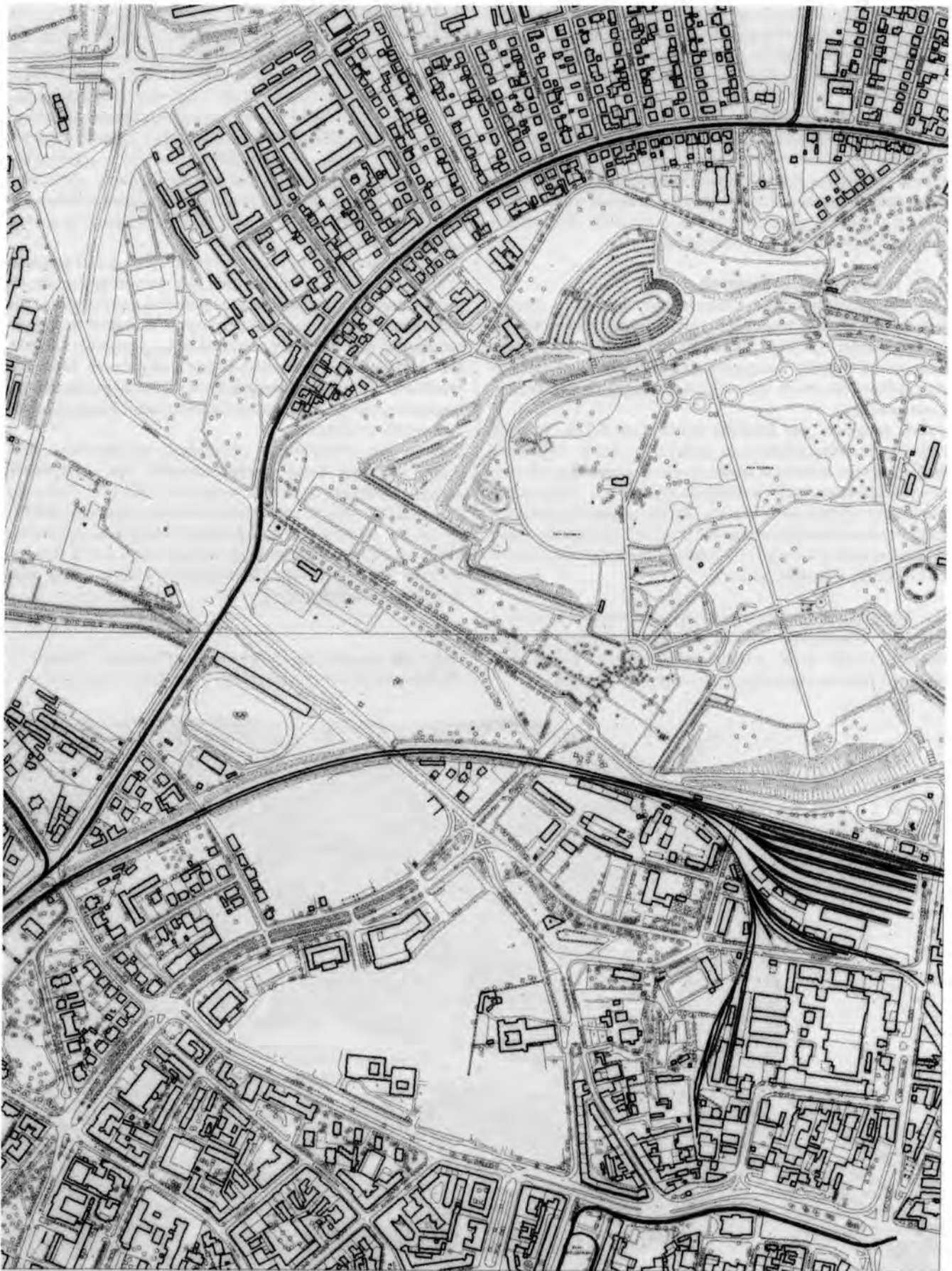
Opisane wcześniej metody opracowania fotogrametrycznego pozwalają na uzyskiwanie danych we wszystkich formach. Wymagany poziom precyzji tych danych jest osiągany poprzez właściwy dobór skali rejestracji. Przy zastosowaniu wielkoskalowych zdjęć lotniczych (w skali 1: 4000) uzyskiwana jest dokładność pomiaru fotogrametrycznego konkurencyjna względem nowoczesnych metod pomiaru bezpośredniego. Dzięki wysokiemu stopniowi automatyzacji metod numerycznych efektywność pomiarów jest bardzo wysoka (przykładowo opracowanie obszarów miejskich może być realizowane z wydajnością 1000 ha miesięcznie na jednym stanowisku pomiarowym). Z prowadzonych analiz porównawczych wynika, że ok. 80 % treści wymaganej na szczegółowych mapach numerycznych można pozyskać z wielkoskalowych zdjęć lotniczych. Tworzenie map w postaci wektorowej wymaga specjalistycznego sprzętu oraz wykształconych fotogrametrycznie operatorów. Alternatywnym rozwiązaniem jest stosowanie techniki cyfrowej ortofotografii lub monoplotingu.

W tych technikach użytkownik otrzymuje obraz w postaci rastrowej o rozdzielczości 15-30 mm. Materiał w takiej postaci jest znacznie bogatszy w zakresie treści od tworzonych profesjonalnie map wektorowych z tych samych zdjęć i umożliwia prowadzenie wielowariantowych opracowań tematycznych.

Dzięki temu, że cyfrowa ortofotomapa może być produkowana w procesie w pełni zautomatyzowanym, powinna ona stanowić jedną z podstawowych warstw informacyjnych przyszłych systemów.

### 4.2. Aktualizacja baz danych

Podstawowym kryterium przydatności systemów GIS/LIS jest aktualność zawartości danych geometrycznych i opisowych.



Mapa fotogrametryczna miasta 1:10 000 opracowana systemem GEO-MAP

Dlatego dużego znaczenia nabierają efektywne sposoby aktualizacji tych danych. W krajach wysoko rozwiniętych stosuje się okresową aktualizację danych geometrycznych. W cyklach 3-5-letnich wykonywane są nowe zdjęcia fotografometryczne.

W nowoczesnych instrumentach analitycznych lub cyfrowych istnieje możliwość wyświetlania zawartości bazy geometrycznej na tle zrekonstruowanego modelu przestrzennego. Jednoczesna obserwacja sytuacji aktualnej z zawartością kontrolowanej bazy pozwala na łatwe wykrywanie zmian oraz modyfikowanie danych geometrycznych z użyciem dostępnych w oprogramowaniu funkcji edycyjnych.

### 4.3. Weryfikacja danych

Istotnym problemem jest kontrola pozyskiwanych danych numerycznych pod kątem ich kompletności i poprawności geometrycznej. Do tego etapu prac można z powodzeniem zastosować metody fotografometryczne, które w niektórych przypadkach nie mogą być efektywnie zastąpione przez inne rozwiązania.

Takim zadaniem jest kontrola tworzonego DTM. Stosując technologię fotografometryczną jesteśmy w stanie wygenerować warstwicę w rzutach środkowych odpowiadających projekcji zdjęć lotniczych tworzących stereogram. Jednoczesna obserwacja rysunków warstwicy na tle zrekonstruowanego modelu przestrzennego umożliwia wychwycenie błędów (warstwicę nie będą przylegały do terenu) i wprowadzenie korekcji na drodze interaktywnej.

Dla kontroli sporządzonej numerycznej mapy wektorowej możemy wykorzystać cyfrową ortofotomapę. Superpozycja (złożenie) tych dwóch produktów pozwala na ocenę kompletności i jakości geometrycznej mapy wektorowej.

### 5. Podsumowanie

Z przedstawionej charakterystyki współczesnych technologii fotografometrycznych wynika, że są one w stanie zapewnić pełne spektrum tworzenia geometrycznych baz - od szczegółowych (kataster) do globalnych. Niewątpliwą zaletą pomiaru fotografometrycznego jest w pełni przestrzenna inwentaryzacja obiektów. Dla szybkiego utworzenia systemu informacji geograficznej w skali regionalnej możemy w zakresie bazy geometrycznej wykorzystać jedynie produkty opracowań fotografometrycznych. Mogą ją stanowić cyfrowa ortofotografia i numeryczny model terenu (DTM) zapisane w dwóch oddzielnych warstwach systemu.

Zalety fotografometrii są jeszcze wyraźniejsze, jeżeli przeanalizujemy zagadnienie aktualizacji baz danych systemów informacyjnych. Zdjęcia lotnicze stanowią jedyną drogę do weryfikacji i aktualizacji. Superpozycja aktualnej treści prezentowanej na zdjęciach z zawartością bazy pozwala na szybkie i kompleksowe przeprowadzenie tego procesu. Można to zrealizować z wykorzystaniem specjalistycznego sprzętu fotografometrycznego lub poprzez wykorzystanie generowanych cyfrowych ortofotomap.

Podniesienie efektywności opracowań, szczególnie cyfrowych, następuje dzięki bezpośredniemu wykorzystywaniu danych zawartych w bazach systemów GIS/LIS. Tak więc obserwujemy system sprzężenia zwrotnego pomiędzy numerycznymi technikami fotografometrycznymi a systemami GIS/LIS, zwiększające stopień automatyzacji metod fotografometrycznych, a przez to efektywność zasilania baz danych systemów informacyjnych.

*Autor jest adiunktem w Instytucie Fotografometrii i Kartografii, Wydziału Geodezji i Kartografii Politechniki Warszawskiej*

