

## GEOREFERENCYJNE DANE OBRAZOWE

### GEOIMAGING DATA

Ryszard Preuss

Zakład Fotogrametrii, Teledetekcji i SIP, Wydział Geodezji i Kartografii  
Politechnika Warszawska

SŁOWA KLUCZOWE: ortofotografia, ortofotomapa, trueortho, warstwa referencyjna, dane wektorowe, zasilanie GIS

STRESZCZENIE: Dane obrazowe stanowią coraz częściej podstawowe dane źródłowe zasilające bazy wielu systemów informacyjnych typu GIS. Należy jednak pamiętać, że są one pierwotnie rejestrowane w rzucie środkowym lub dynamicznym nie gwarantującym wymaganej kartometryczności odwzorowanych na obrazie obiektów. Dla uzyskania efektu rzutowania ortogonalnego zarejestrowanych na zdjęciu obiektów terenowych musimy wykonać wtórne przetwarzanie różniczkowe pierwotnych obrazów do postaci ortofotografii. Obecne technologie realizujące ten proces w sposób cyfrowy pozwalają na lokalizację każdego przetwarzanego piksela tworzonej ortofotografii w założonym układzie zewnętrznym – terenowym. W ten sposób wszystkie piksele cyfrowej ortofotografii posiadają zdefiniowaną lokalizację przestrzenną, czyli georeferencję. W artykule przedstawiono aktualny stan technologiczny w zakresie tworzenia georeferencyjnych danych obrazowych (ortofotomapy i trueortho). Omówiono cechy geometryczne i radiometryczne tych produktów oraz ich funkcjonalność jako warstwa referencyjna w systemach GIS dla różnych typów terenów i zastosowań. Scharakteryzowano aktualny stan pokrycia ortofotomapą obszaru kraju wraz z planem jej aktualizacji do 2013 roku. Szczegółowo zaprezentowano technologię Trueortho, która powinna być preferowana dla terenów zurbanizowanych jako eliminująca martwe pola występujące na tradycyjnej ortofotomapie. Przedstawiono praktyczne rezultaty uzyskane w trakcie prowadzenia prac eksperymentalnych w ramach projektu badawczego KBN „**Badanie jakości True-Ortho w aspekcie wykorzystywanych do jego generowania danych źródłowych**”. W podsumowaniu publikacji podano zalecenia technologiczne i wymogi geometryczne dla danych źródłowych potrzebnych do generowania produktu typu trueortho jako produktu kartograficznego tworzącego warstwę referencyjną w systemie GIS oraz źródło pozyskiwania danych wektorowych typu 2D dla baz topograficznych i tematycznych.

### 1. WPROWADZENIE

Zobrazowania z pułapu lotniczego, a coraz częściej również z pułapu satelitarnego stanowią bogate źródło informacji o terenie dla wielu systemów informacji przestrzennej. Dzięki wdrożeniu technologii cyfrowej rejestracji na pułapie lotniczym z początkiem tego wieku dane obrazowe są pozyskiwane bardziej efektywnie (zwiększyła się ilość dni, w których można wykonać nalot fotogrametryczny i wyeliminowano proces obróbki fotochemicznej). Znacznie polepszyła się jakość radiometryczna rejestracji poprzez zastosowanie 11-bitowego

zapisu oraz równoczesne pozyskiwanie wielu wyciągów spektralnych (standardowo: PAN, R, G, B i IR). Proces rejestracji przeprowadza się dwoma sposobami: przy pomocy kamery kadrowej (rzut środkowy) lub linijki CCD (dynamiczne skanowanie terenu). Niezależnie od zastosowanego sposobu rejestracji pozyskany obraz obarczony jest szeregiem zniekształceń geometrycznych w stosunku do teoretycznego rzutowania ortogonalnego, który gwarantuje jego kartometryczność. Proces przekształcania obrazu źródłowego do postaci kartometrycznej nazywany jest procesem przetwarzania różniczkowego, a produkt finalny ortofotografią. Obecnie proces ten jest całkowicie wykonywany w technologii cyfrowej, dlatego też produkt taki nazywamy cyfrową ortofotografią. Piksele cyfrowej ortofotografii mają ściśle zdefiniowany wymiar terenowy oraz lokalizację, czyli posiadają georeferencję. Cyfrowa ortofotografia jest więc macierzą, w której jest zapisana radiometria przeniesiona ze źródłowego obrazu. Do zapisu takiej macierzy najczęściej stosuje się format typu \*.Geotiff, który pozwala na lokalizację interpretowanych obiektów odwzorowanych na ortofotografii bezpośrednio w układzie terenowym, bez potrzeby ponownego nadawania jej georeferencji. Współczesne technologie przetwarzania różniczkowego umożliwiają przekształcenie obrazu zapisanego w dowolnej geometrii pod warunkiem, że znamy opis matematyczny (algorytm) sposobu wykonywania rejestracji. Sam proces przetwarzania ma charakter wsadowy i wymaga wcześniejszego przygotowania niezbędnych danych inicjalnych w postaci plików wymaganych przez stosowane oprogramowanie. Poza cyfrowym zapisem przetwarzanego obrazu konieczna jest znajomość jego orientacji zewnętrznej oraz dane o ukształtowaniu pionowym odfotografowanego terenu. Dla standardowych zdjęć lotniczych (wykonanych w rzucie środkowym) elementy orientacji zewnętrznej wyznaczone są w oddzielnym procesie zwanym aerotriangulacją bądź są to parametry określane bezpośrednio w czasie lotu fotogrametrycznego przy pomocy dodatkowych urządzeń takich jak GPS i INS. Dla obrazów dynamicznych rejestrowanych linijką detektorów CCD wyznacza się współczynniki wielomianowe parametrów w postaci tzw. RPC. Natomiast dane o ukształtowaniu pionowym terenu są przygotowywane jako NMT w postaci siatki GRID. Precyzja NMT jest dostosowywana do wymaganej kartometryczności tworzonej ortofotografii. Jako standardową przyjmuje się, że kartometryczność cyfrowej ortofotomapy powinna wynosić 3 piksele. Dlatego też bardzo istotnym jest właściwe określenie dokładności wszystkich danych inicjalnych tak, aby to kryterium spełnić. Jakość geometryczna cyfrowej ortofotomapy przesądza o zakresie jej potencjalnego wtórnego wykorzystania. Równie ważnym parametrem cyfrowej ortofotografii jest jej charakterystyka radiometryczna. Dzięki stosowaniu cyfrowej rejestracji obrazów źródłowych nastąpiło istotne polepszenie jakości radiometrycznej oraz powstała możliwość wykorzystania równoczesnej rejestracji wielu wyciągów spektralnych. Obecnie w oparciu o zdjęcia cyfrowe możemy wygenerować standardowo cyfrową ortofotografię w postaci panchromatycznej, w barwach naturalnych i w barwnej podczerwieni. Równoczesne wykorzystanie takich produktów do interpretacji znacząco poprawia jej jakość i określanie cech analizowanych obiektów.

## **2. CYFROWA ORTOFOTOMAPA – STAN AKTUALNY I PLANOWANY**

Koncepcja jednolitego krycia kraju cyfrową ortofotomapą powstała w 2003 roku. Jej standard techniczny został dostosowany do potrzeb systemu kontroli dopłat bezpośrednich dla rolników LPIS realizowanego przez ARiMR (Preuss, 2007). W 2006 roku powstała pierwsza edycja tej warstwy referencyjnej. W jej skład wchodziły głównie moduły ortofo-

tomapy o rozdzielczości terenowej 0.5 m. Moduły te w postaci prostokątnych macierzy aproksymujących arkusze map topograficznych w skali 1: 10000 były wykonywane jako panchromatyczne lub w barwach rzeczywistych tak, aby zagwarantować ciągłość pokrycia terenu. Dla uzyskania 100% pokrycia kraju tym produktem wykorzystano również obraz źródłowy z satelity Ikonos (obszar graniczny na wschodzie kraju oraz część województwa zachodniopomorskiego) tworząc ortofotomapę o rozdzielczości 1 m. Te ortofotomapy w procesie aktualizacji zastąpiono produktami wykonanymi ze zdjęć lotniczych. Pierwsza aktualizacja została przeprowadzona w okresie 2007–2010 z wykorzystaniem już jedynie zdjęć lotniczych wykonanych w barwach naturalnych. Na Rys. 2.1 pokazano stan aktualny pokrycia kraju cyfrową ortofotomapą z wyodrębnieniem różnych wykonawców i terminów wykonania.



Rys. 2.1. Stan aktualny pokrycia kraju cyfrową ortofotomapą na rok 2010

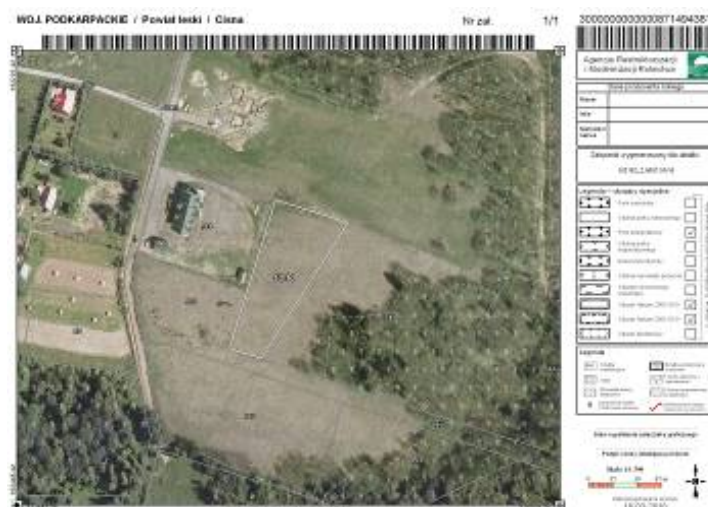
Planowany jest systematyczny proces aktualizacji tej warstwy referencyjnej. Obecnie zaplanowano terminy drugiej aktualizacji. Będzie ona wykonywana do 2013 roku i przeważający obszar kraju (ponad 160 tys. km<sup>2</sup>) będzie pokryty modułami ortofotomapy o rozdzielczości 0.25 m tak jak to zostało pokazane na Rys. 2.2. Widzimy więc, że docelowo planowana jest systematyczna aktualizacja tego produktu w cyklu trzy letnim. Przejście na rejestrację obrazów źródłowych lotniczymi kamerami cyfrowymi pozwoli na tworzenie równoczesne ortofotomap wielospektralnych w postaci panchromatycznej, w barwach naturalnych oraz barwnej podczerwieni, które będą stanowiły istotny element geodanych w zasobie geodezyjnym i kartograficznym.



Rys. 2.2. Planowane pokrycie kraju cyfrową ortofotomapą w 2013 roku

### 3. UŻYTECZNOŚĆ CYFROWEJ ORTOFOTOMAPY

Główne zastosowanie cyfrowej ortofotomapy to oczywiście weryfikacja wniosków o dopłaty bezpośrednie dla rolników. Aktualnie ARiMR na początku każdego roku rozsyła producentom rolnym formularze do potwierdzenia lokalizacji i powierzchni obszarów wykorzystywanych na cele produkcji rolnej. Głównym elementem takiego formularza (Rys. 3.1) jest fragment ortofotomapy z naniesionymi terenami uprawianymi przez zainteresowanego w roku ubiegłym. Na tym dokumencie producent potwierdza fakt użytkowania terenu i to jest podstawą uzyskania dopłaty w roku bieżącym. W zeszłym roku ARiMR wprowadził możliwość wypełniania takiego formularza poprzez Internet. Cyfrowe ortofotomapy tworzone na potrzeby ARiMR trafiają również do Państwowego Zasobu Geodezyjno-Kartograficznego i są szeroko wykorzystywane przez służbę geodezyjną wszystkich szczebli (Preuss, 2007). Podstawowym zastosowaniem tego produktu w geodezji jest tworzenie lub aktualizacja obiektów topograficznych w bazie danych BDOT. Lokalizacja tych obiektów jest wyznaczana poprzez bezpośrednią ich wektoryzację na obrazie ortofotomapy sporządzonej w układzie odniesienia PUWG 1992 metodą monoplotingu. Jakość geometryczna tych materiałów pozwala również na ich wykorzystanie w procesie modernizacji ewidencji gruntów i budynków. Jednakże dla tego zastosowania sporządza się z tych samych danych źródłowych ortofotomapy w układzie PUWG 2000, w którym prowadzona jest część geometryczna ewidencji gruntów i budynków. Wszystkie ortofotomapy stanowią element zasobu geodezyjnego na wszystkich szczeblach i mogą w postaci archiwalnej być wykorzystywane jako dane źródłowe dla wielu opracowań tematycznych.



Rys. 3.1. Przykład zastosowania cyfrowej ortofotomapy we wniosku o dopłaty bezpośrednie ARiMR

Cyfrowa ortofotomapa stanowiła pierwszą warstwę referencyjną systemu GEOPORTAL, który rozpoczęto tworzyć w 2006 roku (Dygaszewicz, Preuss, 2006). Celem tego portalu jest udostępnianie metadanych i danych zgodnie z Dyrektywą INSPIRE. Dzięki systematycznej aktualizacji i polepszaniu standardów technicznych, zakres zastosowań cyfrowej ortofotomapy ciągle wzrasta. Należy jednak wiedzieć, że pozyskiwanie lokalizacji obiektów techniką monoplotingu jest poprawne dla obiektów zlokalizowanych na powierzchni NMT.



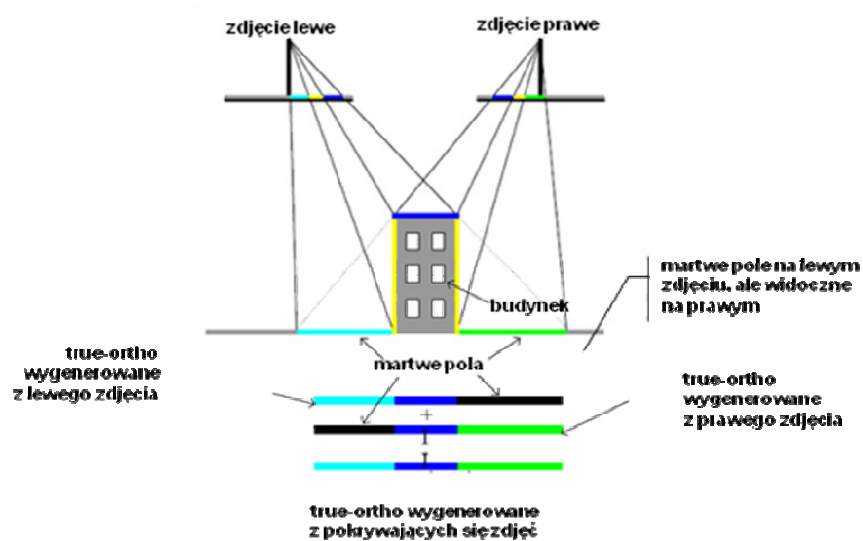
Rys. 3.2. Prezentacja graficzna martwych pól na cyfrowej ortofotomapie spowodowana zabudową mieszkaniową

Wszystkie obiekty „wystające” są odwzorowane nieprawidłowo. Dodatkowo tworzą one tzw. „martwe pola”, które nie zawierają treści terenowej tak jak to zostało pokazane na Rys. 3.2. Dlatego obecnie sporządzane ortofotomapy dla obszarów miejskich, a w szczególności centrów miast z wysoką zabudową charakteryzują się ograniczoną użytecznością kartograficzną. Przedstawiony mankament jest w stanie wyeliminować technologia trueortho, która tworzy kartometryczny obraz terenu dla wszystkich obiektów.

#### 4. TRUEORTHO – PRODUKT NOWEJ GENERACJI

Cechą geometryczną cyfrowej ortofotomapy jest to, że prawidłową lokalizację na niej mają obiekty o wysokości opisywanej przez NMT, a więc sama powierzchnia terenu i obiekty płaskie na niej położone. Nie można tego powiedzieć o obiektach „wystających” ponad powierzchnię terenu, jak budynki, roślinność, mosty, wiadukty i inne obiekty antropogeniczne, leżące ponad powierzchnią terenu. Obrazy tych obiektów pozostają przesunięte, zgodnie z rzutem środkowym źródłowego zdjęcia. Przesunięcie to jest funkcją wysokości względnej obiektu oraz jego lokalizacji na zdjęciu (Kurczyński, Preuss, 2009). Ortofotomapa w obszarze zabudowanym nie może również być źródłem opracowania mapy wektorowej, tworzonej poprzez wektoryzację ekranową jej obrazu, co stanowi obecnie podstawową technikę tworzenia map topograficznych.

Produktem pozbawionym powyższych wad jest trueortho, określane również jako „prawdziwe orto”. Trueortho jest rzutem ortogonalnym wszystkich obiektów zarejestrowanych na zdjęciu, zarówno powierzchni topograficznej terenu, jak i obiektów „wystających” ponad tę powierzchnię, jak wegetacja, budynki, mosty i inne obiekty antropogeniczne, nie włączone do NMT. Warunkiem wygenerowania trueortho jest dysponowanie przestrzennym zamodelowaniem brył budynków i ewentualnych innych przestrzennych obiektów. Oznacza to, że tak jak dla generowania ortofotomapy kluczowym jest NMT, tak dla generowania trueortho kluczowym jest numeryczny model pokrycia terenu (NMPT). Posiadanie NMPT pozwala na wykrycie i zamarkowanie obszarów martwych pól i wypełnienie obszarów martwych pól treścią obrazową z innego zdjęcia.



Rys. 4.1. Zasada generowania trueortho

Zasadę tworzenia trueortho ilustruje rysunek 4.1. Program do generowania trueortho wykrywa martwe pola na zdjęciu na podstawie znanych elementów orientacji zewnętrznej oraz NMPT. W wyniku takiej analizy powstaje „mapa widoczności”, na której niewidoczne

elementy w martwych polach są specjalnie kodowane, np. maską o czarnym kolorze (Nielsen, 2004). Następnie obszary te są wypełniane treścią obrazową, wziętą z sąsiednich zdjęć. W praktyce może wystąpić konieczność wypełnienia konkretnego martwego pola z więcej niż jednego sąsiedniego zdjęcia. Zwykle generuje się ortofotografię ze wszystkich zdjęć pokrywających interesujący obszar. Każda ortofotografia ma zaznaczone (specjalnie zakodowane i zamarkowane) martwe pola. Poprzez połączenie wszystkich pokrywających się ortofotografii wypełnia się cały obszar treścią obrazową. Widzimy więc, jak ważne jest właściwe zaprojektowanie i wykonanie zdjęć lotniczych. Wzrasta również problem mozaikowania ortofotografii, gdyż od niego zależy jakość wizualna trueortho. Tak więc praktyczne wykonywanie trueortho jest wysoce uzależnione od sprawnie działającego oprogramowania i przygotowania właściwej jakości danych inicjalnych. Produkt zwany trueortho dla terenów zurbanizowanych eliminuje mankamenty tradycyjnej ortofotografii likwidując efekt martwych pól oraz przedstawiając wszystkie obiekty odfotografowane na zdjęciu w rzucie ortogonalnym. Staje się więc możliwe pozyskiwanie obrysów wektorowych wszystkich obiektów techniką monoplotingu, co istotnie poszerza zakres wykorzystywania danych obrazowych do zasilania baz danych GIS.

## 5. EKSPERYMENTALNA OCENA JAKOŚCI TRUEORTHO

W ramach realizacji grantu „Badanie jakości true-ortho w aspekcie wykorzystywanych do jego generowania danych źródłowych” przeprowadzono szereg badań eksperymentalnych dla określenia czynników kształtujących jakość generowanego trueortho (Kowalczyk et al., 2010). W tych badaniach wykorzystano lotnicze zdjęcia cyfrowe o rozdzielczości przestrzennej równej 9 cm, pokryciu podłużnym  $p = 70\%$  i poprzecznym  $q = 60\%$ , co umożliwiła poprawne wygenerowanie trueortho oraz dane lotniczego skaningu laserowego (ALS) o gęstości rejestracji 3 punktów na  $m^2$  powierzchni terenu. Dodatkowo dla obszaru badawczego posiadano wektorowe obrysy budynków z ewidencji gruntów i budynków. Z danych inicjalnych wygenerowano szereg produktów finalnych szczegółowo scharakteryzowanych w (Kowalczyk et al., 2010). Obszar na którym przeprowadzono badania to starówka miasta Wrocławia prezentowana na Rys. 5.1. Wykorzystywane dane inicjalne pozwoliły na wygenerowanie trueortho o najlepszej rozdzielczości terenowej  $GSD = 12.5$  cm. Fragment powiększenia tego produktu ilustruje Rys. 5.2. Na sporządzonych trueortho wykonano wektoryzację obrysów dachów techniką monoplotingu, które następnie porównano z posiadanymi obrysami budynków z ewidencji gruntów i budynków. Efekt graficzny tego porównania widzimy na Rys. 5.3. Dodatkowo na tym rysunku pokazano w kolorze różowym obrys dachu budynku uzyskany z digitalizacji na tradycyjnej ortofotomapie. Przedstawione badania wykazały, że na tradycyjnej ortofotomapie martwe pola dla zabudowy miejskiej czterokondygnacyjnej osiągają wartości rzędu 4 metrów. Natomiast na trueortho ulegają one prawie całkowitej eliminacji, a pomierzone na nich obrysy wektorowe dachów zgadzają się z obrysami budynków z ewidencji gruntów i budynków z dokładnością średnią  $\pm 30$  cm. Można więc stwierdzić, że wykonane badania wykazały w pełni cechy kartometryczne analizowanego produktu.



Rys. 5.1. Fragment starówki Wrocławia objęty badaniami



Rys. 5.2. Powiększenie fragmentu wygenerowanego trueortho



Rys. 5.3. Przykładowy rezultat wektoryzacji obrysu dachu budynku na trueortho i tradycyjnej ortografii



## 6. PODSUMOWANIE

W ostatniej dekadzie wzrosła dostępność danych obrazowych pozyskiwanych z pułapu lotniczego i satelitarnego. Parametry geometryczne i radiometryczne tych danych umożliwiają szerokie ich stosowanie w zasilaniu i aktualizacji baz danych SIP. Zniekształcone geometrycznie źródłowe dane obrazowe są przekształcane do postaci kartometrycznej metodą przetwarzania różniczkowego. Proces ten jest obecnie realizowany w 100% metodą cyfrową w pełni automatycznie. Dzięki temu otrzymujemy produkt w postaci cyfrowej ortofotomapy o charakterze georeferencyjnym bardzo szybko i przy niskich nakładach finansowych. Pozwala ona na prostą wektoryzację odwzorowanych obiektów techniką monoplotingu. Jednak dotyczy to jedynie obiektów zlokalizowanych na powierzchni NMT, na którą realizowane jest przetwarzanie różniczkowe przy sporządzaniu cyfrowej ortofotomapy. Wektoryzacja na niej powinna więc obejmować tereny odkryte, w praktyce rolnicze. Aktualnie cyfrowe ortofotomapy pokrywają obszar całego kraju i są systematycznie aktualizowane. Rozpoczęto właśnie trzecią aktualizację tego produktu, która jest planowana na 3 lata. Są one dostępne w zasobach geodezyjno-kartograficznych, a z ich parametrami technicznymi i samym produktem można się zapoznać w portalu internetowym [WWW.geoportal.gov.pl](http://WWW.geoportal.gov.pl). Mankamenty „tradycyjnej” cyfrowej ortofotomapy są eliminowane w produkcie nowej generacji – trueortho. Dla poprawnego odzorowania kartograficznego wszystkich obiektów przetwarzanie różniczkowe wykonywane jest na powierzchni NMPT. Dla terenów zurbanizowanych, dla których tworzy się ortofotomapy o dużej rozdzielczości terenowej (najczęściej GSD = 10 cm) potrzebny jest precyzyjny NMPT w postaci wektorowej. Tworzenie takiego produktu jest obecnie czasochłonne i kosztowne, co ogranicza stosowanie technologii trueortho na szeroką skalę. Jednak wdrażanie tej technologii jest konieczne dla terenów zurbanizowanych o wyższej zabudowie. Nastąpi to szerzej prawdopodobnie wraz z rozwojem budowy modeli 3D miast wykorzystujących metody automatyczne do modelowania budynków z chmur punktów otrzymanych z pomiaru ALS lub metodami dopasowania (matching) cyfrowych zdjęć lotniczych.

## 7. LITERATURA

- Dygaszewicz, J, Preuss, R, 2006, „Ortofotomapa w sieci – projekt Geoportala.gov.pl”, *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 16, ISBN 978-83-920594-5-X, str. 495–504.
- Kowalczyk, M, Podlasiak, P, Preuss, R, Zawieska, D, 2010, „Ocena kartometryczności True-ortho”, *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 21, str. 191–200.
- Kurczyński, Z, Preuss, R., 2009, „Wymagania wobec danych źródłowych dla generowania True-ortho”, *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 19, ISBN 978-83-61576-09-9, str. 229–241.
- Nielsen, M., 2004, True orthophoto generation, Master thesis, Technical University of Denmark.
- Preuss, R., 2007, „Potencjał kartograficzny cyfrowych ortofotomap”, książka „Informacja geograficzna w kształtowaniu i ochronie środowiska przyrodniczego”, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań 2007, ISBN 978-83-60247-81-5, s. 43–53.

## **GEOIMAGING DATA**

**KEY WORDS:** orthophoto, orthophotomap, trueortho, capture the vector data, reference layer in GIS

**SUMMARY:** The image data are more often primary power source data supplied many information systems like GIS. However, remember that they are initially recorded in the central projection or dynamic projection, which does not guarantee the required cartometry of objects mapped on the image. To obtain the orthogonal projection of the terrain we need to do secondary, differential processing of the original images to orthophotos. Current technologies implementing this process in a digital form allow the location of each processed pixel of created orthophotos within a given external terrain coordinate system. In this way, all pixels of digital orthophotos have a defined spatial location or georeferencing. In the paper the current state of technology in creating of georeferenced image data (orthophoto and trueortho) is given. They are treated the geometric and radiometric characteristics of these products and their functionality as a reference layer in GIS for different types of sites and applications. The current state of the country orthophotomap coverage and a plan to update it until 2013 is given. Trueortho technology is presented in detail, which should be preferred for urban areas as eliminating obscured areas present on the traditional orthophotoma. They are presented the practical results obtained in the course of experimental work in the framework of the KBN research project "Study on the quality of True-Ortho in terms of used the source data". In summary, the technological recommendations and geometrical requirements are given for source data required to generate the trueortho, as cartographic reference layer in GIS, or 2D source data for capture the vector data for topographic and thematic data bases needs.

dr inż. Ryszard Preuss  
e-mail: [ryszard.preuss@wp.pl](mailto:ryszard.preuss@wp.pl)  
telefon: (22) 234 76 94