

## OCENA KARTOMETRYCZNOŚCI TRUE-ORTHO

### EVALUATION OF CARTOMETRIC PROPERTIES OF TRUE-ORTHO IMAGES

Michał Kowalczyk, Piotr Podlasiak, Ryszard Preuss, Dorota Zawieska

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

SŁOWA KLUCZOWE: true-ortho, stereodigitalizacja, monoploting obrysu dachów

STRESZCZENIE: W referacie dokonana zostanie ocena jakości geometrycznej true-ortho tworzonego w oprogramowaniu firmy Inpho. Kartometryczność tego produktu jest funkcją precyzji geometrycznego opisu Numerycznego Modelu Powierzchni Terenu (NMPT). Prezentowane wyniki stanowią praktyczne podsumowanie prac badawczych prowadzonych w Zakładzie Fotogrametrii, Teledetekcji i SIP PW w ramach projektu badawczego KBN pt.: „Badanie jakości True-Ortho w aspekcie wykorzystywanych do jego generowania danych źródłowych”. W przypadku realizowanego projektu, budynki były rekonstruowane wariantowo w postaci GRID z danych źródłowych ALS lub automatycznego dopasowania zdjęć cyfrowych (*matching*) oraz TIN powstałego w wyniku pomiaru na stacji cyfrowej ImageStation (proces stereodigitalizacji) z kodowaniem danych wektorowych w środowisku MicroStation. Dzięki różnej postaci danych inicjalnych uzyskano odpowiedź, jak ich sposób zapisu i precyzja wpływa na finalną kartometryczność tworzonego produktu oraz jaka jest pracochłonność poszczególnych rozwiązań technologicznych. Ocena kartometryczności wygenerowanych true-ortho otrzymanych z różnych danych inicjalnych została przeprowadzona poprzez wektoryzację obrysów budynków techniką monoplotingu i ich porównaniu z danymi referencyjnymi.

## 1. WPROWADZENIE

Aktualnie obserwujemy coraz szersze zastosowania cyfrowej ortofotomapy jako źródła danych do zasilania i aktualizacji baz danych topograficznych, tematycznych, a nawet weryfikacji danych geometrycznych Ewidencji Gruntów i Budynków. Ta sytuacja wynika w głównej mierze z faktu pokrycia całego kraju tym produktem o aktualności rzędu 2–3 lat oraz stosunkowo łatwym pozyskiwaniem z niego (rastrowa forma zapisu) techniką digitalizacji interesujących nas obiektów topograficznych zapisanych w technice wektorowej. Ta postać zapisu numerycznego docelowo pozwala na tworzenie baz danych przydatnych do prowadzenia wszechstronnych analiz przestrzennych.

Proces wektoryzacji na obrazie cyfrowej ortofotomapy (technika monoplotingu) daje poprawne rezultaty w zakresie pozyskiwanych danych jedynie dla obiektów zlokalizowanych na powierzchni numerycznego modelu terenu (NMT). Tak więc można stwierdzić, że zastosowanie cyfrowych ortofotomap może być efektywne na obszarach rolniczych (odkrytych) w przypadkach gdy wymagana jest dokładność lokalizacji (sytuacyjna) obiektów rzędu 1m. Z tego powodu można obserwować stosunkowo wolne i w ograniczonym

zakresie wdrażanie techniki ortofoto na obszarach zurbanizowanych. Najczęstszym zastosowaniem ortofoto terenów miejskich to funkcje planistyczne i informacyjne. Nawet taki zakres wykorzystania jest jednak ograniczony występowaniem na cyfrowej ortofotomapie terenów miejskich tzw. "martwych pól" oraz nie kartometrycznym odwzorowaniem budynków i innych obiektów przestrzennych. Taki produkt nie nadaje się do lokalizacji budynków, szczególnie biorąc pod uwagę wymagania dokładnościowe w tym zakresie.

Omawianych mankamentów nie ma produkt nowej generacji jakim jest true-ortho. Ten produkt jest w pełni kartometryczny zarówno w zakresie odwzorowania obiektów znajdujących się na powierzchni topograficznej terenu (NMT) jak również dla występujących na nim obiektów przestrzennych. Prawidłowe generowanie true-ortho wymaga innych danych źródłowych oraz specjalistycznego oprogramowania do przetworzenia zdjęć lotniczych lub obrazów cyfrowych. Uwarunkowania te są szczegółowo omówione w (Kurczyński Z., Preuss R., 2009).

W niniejszym artykule prezentowane są rezultaty uzyskane w projekcie badawczym, którego celem było przeanalizowanie wszystkich czynników wpływających na jakość finalną tworzonego true-ortho.

## 2. CHARAKTERYSTYKA MATERIAŁÓW ŹRÓDŁOWYCH

W badaniach wykorzystano następujące materiały produkcyjne firmy GISPRO Sp. z o.o. lotnicze zdjęcia cyfrowe wraz projektem wyrównanego bloku zdjęć (aerotriangulacja), dane lotniczego skaningu laserowego (LIDAR), fragment ortofotomapy, model 3D miasta Wrocławia, mapa ewidencyjna Wrocławia. Dane powyższe obejmują wybrany fragment Starego Miasta.

### Lotnicze zdjęcia cyfrowe

Firma GISPRO wykonała lotnicze zdjęcia cyfrowe na obszar miasta Wrocław. Zdjęcia pozyskano kamerą Ultra Cam-D z rozdzielczością radiometryczną 12-sto bitową o rozdzielczości przestrzennej równej 9 cm i pokryciu podłużnym  $p = 70\%$  i poprzecznym  $q = 60\%$ , co umożliwia poprawne wygenerowanie true-ortho.

### Lotniczy skaningu laserowy

Na obszar opracowania dostępne były również dane otrzymane z lotniczego skaningu laserowego o średniej gęstości punktów laserowych 3 punkty/m<sup>2</sup>. Charakterystykę tych danych ilustruje tabela 2.1.

Tab. 2.1. Charakterystyka danych pozyskanych przez LIDAR

Parametry skanowania	Wartość parametru
Skaner	OPTECH ALTM 2050
Częstotliwość impulsu	50 kHz
Częstotliwość skanowania	100 Hz
Wysokość lotu	1000 m
Gęstość punktów laserowych	około 3 punkty/m <sup>2</sup>
Dokładność wysokościowa	11 cm
Dokładność sytuacyjna	15 cm
Pokrycie poprzeczne	30%
Układ współrzędnych	PUWG2000
data pozyskania danych	maj 2006

Obszar opracowania w oparciu o NMPT z danych lotniczego skaningu laserowego ograniczono do prostokąta o wymiarach: 700 m (wschód-zachód) na 800 m (północ-południe) (Rys. 2.1).



Rys. 2.1. Przykład cyfrowych zdjęć lotniczych pozyskanych kamerą Ultra Cam<sub>D</sub>

Na zdjęciu po lewej stronie zaznaczono obszar opracowania true-ortho w oparciu o NMPT tworzone różnymi metodami:

- z danych lotniczego skaningu laserowego (linia czerwona),
- z automatycznego dopasowania zdjęć lotniczych (dwa obszary, linia niebieska),
- z manualnego pomiaru na stacji cyfrowej (linia żółta).

### 3. WYBÓR METODYKI I TECHNOLOGII WYTWARZANIA TRUE-ORTHO

Analizując problematykę generowania true-ortho wyłoniono główne zagadnienia tego procesu, rzutujące na jakość i koszt wytwarzania wynikowego produktu. Są to:

- technika pozyskiwania i parametry źródłowych danych obrazowych,
- metody budowy numerycznego modelu pokrycia terenu – NMPT, będącego podstawą procesu true-ortorektyfikacji,
- właściwy proces true-ortorektyfikacji i mozaikowanie wynikowego true-ortho.

Metoda budowy NMPT ma kluczowe znaczenie dla jakości generowanego true-ortho, oraz kosztów jego wytworzenia. W badaniach przetestowano kilka różnych dróg dojścia do NMPT oraz przebadano kilka ścieżek technologicznych generowania true-ortho, bazujących na różnych wyjściowych NMPT. Dla potrzeb prowadzonych eksperymentów zbudowano NMPT w oparciu o następujące rozwiązania:

- automatyczne dopasowanie obrazów (zdjęć lotniczych). Mają tu zastosowanie opracowane ostatnio w świecie metody budowy tzw. „gęstego” NMPT, tj. NMPT o dużej rozdzielczości (małym interwale siatki GRID).
- dane lotniczego skaningu laserowego. To źródło danych przestrzennych wydaje się być najważniejszym w kontekście budowy NMPT dla potrzeb generowania true-ortho. Przemawia za nim dokładność geometryczna (błąd lokalizacji) i wierność mo-

delowania budynków (uzależniona od gęstości skaningu). Kolejnym argumentem „za” jest prędkość pozyskiwania danych laserowych, oraz ciągle doskonalenie tej techniki i jej rozpowszechnienie, sprzyjające wzrostowi wydajności i obniżaniu kosztów.

- dane lotniczego skaningu laserowego, poddane automatycznej detekcji brył budynków. Automatyczna detekcja brył budynków z „chmury” surowych punktów laserowych daje w efekcie modelowanie brył w formacie wektorowym (tj. z wyróżnieniem krawędzi brył budynków). Jest to reprezentacja najbardziej przydatna z punktu widzenia potrzeb generowania true-ortho. Również automatyzacja tego procesu czyni tę ścieżkę perspektywiczną. Pozostaje jednak pytanie o zakres i jakość automatyzacji procesu modelowania budynków z danych skaningu laserowego, oraz przełożenie tej jakości na jakość wynikowego true-ortho.
- stereo digitalizację przestrzennego modelu, zbudowanego na fotogrametrycznej stacji cyfrowej ze zdjęć lotniczych. NMPT, a w tym bryły budynków, pozyskane tą metodą mają niewątpliwie najwyższą jakość. Otrzymany model ma postać wektorową, ze wszelkimi tego pozytywnymi konsekwencjami na dalsze generowanie true-ortho. Jakość takiego modelu, w rozumieniu dokładności lokalizacyjnej jak i szczegółowości oddania detali budynków, zależą od rozdzielczości źródłowych zdjęć lotniczych oraz założonej szczegółowości modeli. Jakość ta może więc być dostosowana do potrzeb generowania true-ortho. Wysoka jakość wynikowego modelu NMPT i spodziewana wysoka jakość wynikowego true-ortho generowanego na jego bazie, okupione są jednak relatywnie dużą czasochłonnością pomiarów na stacji cyfrowej oraz konieczną ich edycją w celu spełnienia wymogów programowych generowania true-ortho (Bujakiewicz, *et al.*, 2009).

Dla realizacji właściwego procesu generowania true-ortho wybrano oprogramowanie Inpho. Jest to środowisko umożliwiające automatyczną true-ortorektyfikację i wypełnienie martwych pól z sąsiednich zdjęć. Podstawą tego procesu może być NMPT zarówno w formie wektorowej (wektorowe modele 3D budynków), jak i w formie rastrowej, pozyskanej z danych lotniczego skaningu laserowego lub automatycznego dopasowania zdjęć cyfrowych.

W ramach prac eksperymentalnych wygenerowano true-ortofotomapy z wykorzystaniem różnej postaci MPT (wektorowa, rastrowa GRID), a dla formy GRID, różnej rozdzielczości NMPT (różnym interwale siatki GRID) i różnej rozdzielczości wynikowego true-ortho (różnym pikselu terenowym).

Wyniki przeprowadzonych eksperymentów przeanalizowano, ze zwróceniem uwagi na:

- błędy generowania true-ortho powodowane przez źródłowe zdjęcia i charakter zabudowy, a w tym pozostałości „martwych” pól w wynikowym true-ortho,
- błędy generowania true-ortho powodowane przez błędy NMPT, a w tym:
  - zależne od źródła NMPT,
  - zależne od formy NMPT (wektor, raster),
  - spowodowane błędami modelowania brył budynków,
  - zależne od rozdzielczości NMPT o strukturze GRID,
- niedoskonałości „estetyczne” wynikowego true-ortho powodowane przez rastrową formę NMPT, objawiające się nieciągłym obrazem krawędzi budynków (krawędzie w postaci „ząbkowej” i „pofalowanej” linii) i porównanie tego efektu z true-ortho generowanym z NMPT w formie wektorowej (wektorowe modele budynków),

- błędy spowodowane automatycznym generowaniem brył budynków z danych skaningu laserowego,
- błędy spowodowane automatycznym generowaniem NMPT z dopasowania zdjęć cyfrowych (tzw. „gęsty” NMPT),
- wpływ rozdzielczości NMPT (interwał siatki GRID) w relacji do rozdzielczości (piksela terenowego) wynikowego true-ortho.

#### 4. CHARAKTERYSTYKA GOMETRYCZNA TRUE-ORTHO

Efektom prac eksperymentalnych było wygenerowanie serii cyfrowych true-ortofotomap, z barwnych zdjęć lotniczych wykonanych kamerą cyfrową UltraCam-D. Bazą dla true-ortorektyfikacji zdjęć były NMPT wytworzone w różnych technologiach i z różnych danych źródłowych (Biegała, *et al.*, 2009), (Kowalczyk, *et al.*, 2009) scharakteryzowanych w tablicy 4.1

Tab. 4.1. Charakterystyka wytworzonych true-ortofotomap ze zdjęć

Lp.	Rozdzielczość true-ortho (piksel terenowy) [m]	Źródło NMPT	Wartość „oczka” GRID NMPT [m]
1.	0.25	automatyczne dopasowanie zdjęć cyfrowych – Obszar 1	0.50
2.	0.25	automatyczne dopasowanie zdjęć cyfrowych – Obszar 2	0.50
3.	0.25	lotniczy skaning laserowy (LIDAR), automatyczna detekcja budynków	0.50
4.	0.25	lotniczy skaning laserowy (LIDAR), „surowa” chmura punktów	0.50
5.	0.25	manualna stereodigitalizacja, pomiar stereoskopowy 3D w ArcGIS, stacja SummitEvolution (z topologią budynków)	0.50
6.	0.25	manualna stereodigitalizacja	0.25
7.	0.25	manualna stereodigitalizacja	0.50
8.	0.125	manualna stereodigitalizacja	0.50
9.	0.25	manualna stereodigitalizacja	1.00

Zakres obszarowy ortofotomap wytworzonych na bazie NMPT pochodzącego z różnych technologii i danych źródłowych praktycznie pokrywa się. Badany obszar jest gęsto zabudowany budynkami o złożonym kształcie i złożonej konstrukcji dachów. Łącznie na badanym obszarze wystąpiło 137 budynków.

##### 4.1. Metodyka oceny jakości geometrycznej true-ortofotomap

Wytworzone w projekcie true-ortofotomapy posłużyły do wytworzenia warstwy wektorowej budynków techniką monoplottingu. Utworzone obiekty porównano z danymi referencyjnymi. Porównano współrzędne płaskie odpowiadających sobie narożników dachów budynków. W rezultacie stwierdzano rozbieżności położenia  $V_X$ ,  $V_Y$ , które pozwalały określić syntetyczne wskaźniki dokładności.

Określono dwa wskaźniki dokładności:

- błędy średnie położenia (w rozumieniu średniokwadratowe):

$$m_X = \sqrt{\frac{[V_X V_X]}{n-1}} \quad m_Y = \sqrt{\frac{[V_Y V_Y]}{n-1}} \quad (1)$$

- błędy przeciętne położenia:  $d_X = \frac{[V_X]}{n} \quad d_Y = \frac{[V_Y]}{n}$  (2)

gdzie:  $V_X$  – odchyłka położenia narożnika na zdigitalizowanej true-ortofotomapie w kierunku osi;  $X$ ,  $V_Y$  – odchyłka położenia narożnika na zdigitalizowanej true-ortofotomapie w kierunku osi;  $Y$ ,  $n$  – liczba analizowanych odchyłek.

Odchyłki oraz błędy wyrażano w miarach terenowych (w [m]), oraz wielokrotności piksela terenowego badanej true-ortofotomapy (tabela 4.2).

W celu umożliwienia wykonania monoplotingu i wykonania obliczeń według wcześniej zaprezentowanej metodyki napisano aplikacje: *OrthoPlot* i *OrtoCalc* (Preuss, et al., 2010) ułatwiające to zadanie. Aplikacja *OrtoCalc* generuje raporty w postaci tekstowej na dwóch poziomach „szczegółowości”. *Raport szczegółowy* – z opisem odchyłek dla każdego wierzchołka każdego budynku. Plik ten jest plikiem roboczym programu, zawiera pełną numerację budynków i ich wierzchołków wraz z odwołaniami do punktów referencyjnych. *Raport skrócony* – przedstawia syntetyczne wyniki dla poszczególnych budynków, bez podziału na wierzchołki. Przykład raportu skróconego jest prezentowany w tabeli 4.2, której poszczególne kolumny zawierają następującą informację:

Tab. 4.2. Przykład fragmentu raportu skróconego – wyniki

Lp.	ID	cnt	$m_X$	$m_Y$	$d_X$	$d_Y$
–	–	–	[m]	[m]	[m]	[m]
1	1	8/ 8	0.370	0.426	0.198	0.151
2	2	4/ 4	0.206	0.189	0.014	0.033
3	3	4/ 4	0.174	0.139	-0.047	0.064
4	4	4/ 4	0.189	0.225	-0.130	-0.109
...						
54	118	8/ 8	0.683	0.885	-0.090	0.258
55	121	4/ 4	0.643	0.603	0.379	0.409
56	132	4/ 4	0.188	0.243	0.089	-0.005
57	133	10/ 10	0.253	0.286	-0.182	-0.087
58	134	4/ 4	0.410	1.488	0.040	0.843
suma	58	355/ 358	0.558	0.733	-0.012	0.128
piksele	–	–	2.230	2.934	-0.048	0.511

kolumna 1: liczba porządkowa budynków, kolumna 2: numer budynku, kolumna 3: wskaźnik liczby narożników dachu budynku, w liczniku: liczba narożników analizowanych, w mianowniku: liczba narożników pomierzonych; kolumny 4–7: błędy średnie przeciętne. Dwa ostatnie wiersze pokazują syntetyczną statystykę liczby budynków, narożników, oraz wskaźników dokładności (błędów) dla wszystkich pomiarów. Błędy te są wyrażone w miarach terenowych [m], oraz w wielokrotności rozmiaru piksela badanej ortofotomapy.

#### 4.2. Analiza uzyskanych wyników

Wytworzone true-ortofotomapy o parametrach prezentowanych w tabeli 4.1 poddano ocenie geometrycznej według przedstawionej w rozdz. 4.1 metodyki. Danymi referencyjnymi dla badanych true-ortofotomap były wyniki stereo digitalizacji budynków i ich lokalizacja w bazie danych ewidencyjnych. Poniżej prezentowane są wyniki tych analiz w formie syntetycznych tabelarycznych raportów dla poszczególnych ortofotomap, łącznie dla 9 przypadków. Zawartość tabel jest zgodna z opisem jak w tabeli 4.2.

##### Porównanie z wynikami stereodigitalizacji na stacji cyfrowej:

1. True-ortofotomapa, piksel 0.25 m, NMPT: automatyczne dopasowanie zdjęć cyfrowych – Obszar 1, grid 0.50 m  
(matching obszar 1) Rozmiar piksela: 0.250 m

Lp.	ID	cnt	$m_x$	$m_y$	$d_x$	$d_y$
–	–	–	[m]	[m]	[m]	[m]
suma	40	224/265	0.350	0.456	-0.057	0.170
piksele	–	–	1.400	1.824	-0.228	0.680

2. True-ortofotomapa, piksel 0.25 m, NMPT: automatyczne dopasowanie zdjęć cyfrowych – Obszar 2, grid 0.50 m  
(matching obszar 2) Rozmiar piksela: 0.250 m

Lp.	ID	cnt	$m_x$	$m_y$	$d_x$	$d_y$
–	–	–	[m]	[m]	[m]	[m]
suma	50	292/315	0.458	0.368	0.064	0.019
piksele	–	–	1.831	1.471	0.255	0.077

3. True-ortofotomapa, piksel 0.25 m, NMPT: lotniczy skaning laserowy (LIDAR), automatyczna detekcja budynków, grid 0.50 m  
(modele budynków na podstawie danych lidar) Rozmiar piksela: 0.250 m

Lp.	ID	cnt	$m_x$	$m_y$	$d_x$	$d_y$
–	–	–	[m]	[m]	[m]	[m]
suma	99	575/640	0.414	0.503	0.043	0.087
piksele	–	–	1.654	2.012	0.170	0.348

4. True-ortofotomapa, piksel 0.25 m, NMPT: lotniczy skaning laserowy (LIDAR), „surowa” chmura punktów, grid 0.50 m  
(surowe dane laserowe) Rozmiar piksela: 0.250 m

Lp.	ID	cnt	$m_x$	$m_y$	$d_x$	$d_y$
–	–	–	[m]	[m]	[m]	[m]
suma	103	579/619	0.429	0.502	-0.006	0.028
piksele	–	–	1.717	2.007	-0.026	0.111

5. True-ortofotomapa, piksel 0.25 m, NMPT: manualna stereodigitalizacja, pomiar stereoskopowy 3D w ArcGIS, SummitEvolution (z topologią budynków), grid 0.50 m  
(pomiar wektorowy ARC\_GIS) Rozmiar piksela: 0.250 m

Lp.	ID	cnt	$m_x$	$m_y$	$d_x$	$d_y$
–	–	–	[m]	[m]	[m]	[m]
suma	58	355/358	0.558	0.733	-0.012	0.128
piksele	–	–	2.230	2.934	-0.048	0.511

6. True-ortofotomapa, piksel 0.25 m, NMPT: manualna stereodigitalizacja, grid 0.25 m  
(pomiar wektorowy grid = 0.25m) Rozmiar piksela: 0.250 m

Lp.	ID	cnt	$m_x$	$m_y$	$d_x$	$d_y$
–	–	–	[m]	[m]	[m]	[m]
suma	74	442/479	0.285	0.310	0.002	0.115
piksele	–	–	1.141	1.238	0.009	0.462

7. True-ortofotomapa, piksel 0.25 m, NMPT: manualna stereodigitalizacja, grid 0.50 m  
(pomiar wektorowy grid = 0.50m) Rozmiar piksela: 0.250 m

Lp.	ID	cnt	$m_x$	$m_y$	$d_x$	$d_y$
–	–	–	[m]	[m]	[m]	[m]
suma	103	610/673	0.329	0.311	0.039	0.071
piksele	–	–	1.317	1.244	0.156	0.284

8. True-ortofotomapa, piksel 0.125 m, NMPT: manualna stereodigitalizacja, grid 0.50 m  
(pomiar wektorowy grid = 0.50m) Rozmiar piksela: 0.125 m

Lp.	ID	cnt	$m_x$	$m_y$	$d_x$	$d_y$
–	–	–	[m]	[m]	[m]	[m]
suma	97	637/683	0.213	0.203	0.025	0.044
piksele	–	–	1.701	1.627	0.199	0.348

9. True-ortofotomapa, piksel 0.25 m, NMPT: manualna stereodigitalizacja, grid 1.00 m  
(pomiar wektorowy grid = 1.00m) Rozmiar piksela: 0.250 m

Lp.	ID	cnt	$m_x$	$m_y$	$d_x$	$d_y$
–	–	–	[m]	[m]	[m]	[m]
suma	101	614/683	0.334	0.306	0.049	0.109
piksele	–	–	1.335	1.223	0.197	0.434

#### Porównanie z danymi ewidencyjnymi:

10. True-ortofotomapa, piksel 0.125 m, NMPT: manualna stereodigitalizacja, grid 0.50m  
(pomiar wektorowy grid = 0.50m) Rozmiar piksela: 0.125 m

Lp.	ID	cnt	$m_x$	$m_y$	$d_x$	$d_y$
–	–	–	[m]	[m]	[m]	[m]
suma	98	634/683	0.480	0.503	0.065	0.127
piksele	–	–	3.837	4.020	0.524	1.018

11. True-ortofotomapa, piksel 0.25 m, NMPT: manualna stereodigitalizacja, grid 0.50 m  
(pomiar wektorowy grid = 0.50m) Rozmiar piksela : 0.250 m

Lp.	ID	cnt	$m_x$	$m_y$	$d_x$	$d_y$
–	–	–	[m]	[m]	[m]	[m]
suma	106	629/673	0.493	0.515	0.050	0.114
piksele	–	–	1.972	2.059	0.201	0.457

## 5. PODSUMOWANIE

Szczegółowa analiza wykonanych porównań w ramach projektu (Preuss *et al.*, 2010) pozwoliła na sformułowanie następujących wniosków i zaleceń technologicznych:

- a) Przeprowadzone eksperymenty pokazują, że true-ortofotomapy można generować z pikselem około półtora–dwa razy większym od piksela (GSD) źródłowych zdjęć cy-



frowych. Wystarczającym przy takich warunkach jest NMPT o rozdzielczości („oczko” siatki GRID) równej podwójnemu pikselowi ortofotomapy. Przy takich warunkach można się spodziewać dokładności geometrycznej (dokładność lokalizacyjna) wynikowej ortofotomapy (błąd średni) tylko nieznacznie gorszej od wielkości piksela dla przypadku modelowania brył budynków poprzez manualną stereodigitalizację modelu na stacji cyfrowej. Przy rastrowej formie NMPT (z danych LIDAR lub automatycznego dopasowania obrazów) należy się spodziewać błędów o około 50% większych. Praktycznie dla terenów zurbanizowanych wykorzystując zdjęcia w skali 1:6 000 (cyfrowe GSD = 10 cm) można więc sporządzać true-ortho z pikselem terenowym 0.125 m (tradycyjnie skala 1:1000) z dokładnością kartometryczną rzędu 2.5 piksela. W analizowanych produktach nie stwierdzono błędów o charakterze systematycznym.

- b) True-ortho może stanowić źródło danych zasilających bazy danych topograficznych na drodze wektoryzacji (monoplotingu). Jakość geometryczną tak uzyskanej warstwy wektorowej można ocenić na tylko nieznacznie gorszą od wielkości piksela ortofotomapy dla przypadku modelowania brył budynków poprzez manualną stereodigitalizację. Dokładność ta ograniczona jest w pierwszym rzędzie bardziej niejednoznacznością i błędami identyfikacji narożników dachów budynków niż samą dokładnością monoplotingu.

Porównanie rezultatów wektoryzacji true-ortho z danymi z ewidencji gruntów i budynków wskazują (na badanym obszarze), że średnie rozbieżności wynoszą około 0.5 m. Można więc stwierdzić, że true-ortho nie spełnia kryterium dokładnościowego jakie należy spełnić przy tworzeniu warstwy wektorowej budynków w EGiB. Rozbieżności te są głównie spowodowane różnicami występującymi pomiędzy obrysami dachów (widocznymi na zdjęciach i podlegającymi wektoryzacji na true-ortho), a lokalizacją przyziemi wymaganą zgodnie ze standardem technicznym G.5. Różnice te nie zależą od wielkości terenowej piksela generowanego true-ortho. Wartości te są jednocześnie miarą martwych pól występujących na obrazie true-ortho przy poprawnie wykonanych zdjęciach lotniczych (o pokryciach podłużnych i poprzecznych dostosowanych do charakteru zabudowy opracowywanego terenu).

Reasumując, wytworzenie dobrej jakości true-ortho umożliwiające wektoryzację budynków dla potrzeb opracowań wielkoskalowych jest pracochłonne i kosztowne w realizacji. Oznacza to, że true-ortho może mieć zastosowanie na ograniczonym obszarze (miasto z wysoką zabudową) i przy zapotrzebowaniu uzasadniającym poniesienie takich nakładów.

## 6. LITERATURA

Kurczyński Z., Preuss R., 2009. „Wymagania wobec danych źródłowych dla generowania true-ortho”. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*.

Biegała T., Preuss R., 2009. „Ocena jakości NMPT tworzonego metodą korelacji cyfrowych zdjęć lotniczych”. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*.

Kowalczyk M., Podlasiak P., Preuss R., Zawieska D., 2009. „Wspomaganie programowe manualnego pozyskiwania linii strukturalnych dachów dla generowania true-ortho”. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*.

Bujakiewicz A., Preuss R., 2009. „Ocena możliwości automatycznej rekonstrukcji 3D modeli budynków z danych fotogrametrycznych.”. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*.

Preuss R., i inni, 2010. *Raport końcowy z realizacji grantu N N526 0668 33 „Badanie jakości true-ortho w aspekcie wykorzystywanych do jego generowania danych źródłowych”*.

## **EVALUATION OF CARTOMETRIC PROPERTIES OF TRUE-ORTHO IMAGES**

**KEY WORDS:** true-ortho, stereo-digitising process, monoplottling of buildings outlines

**SUMMARY:** The paper presents an evaluation of the geometric quality of true-ortho images, which are generated using the Inpho software. The cartometric properties of such products are the function of the accuracy of the Digital Surface Model (DSM) geometric description. The results presented summarise the research work done within the project "Investigation of the quality of true-orthophoto images with respect to source data used for their generation", financed by the Scientific Research Committee. The project was carried out in the Department of Photogrammetry, Remote Sensing and GIS of Warsaw University of Technology, and the results of the project are presented here. The buildings were reconstructed following two variants: (1) in the form of GRID, using ALS source data and in the process of automatic matching of digital photographs, and (2) in the form of TIN generated from measurements with the Image Station (stereo-digitising process) and coding vector data in the MicroStation environment. Various forms of initial data allowed to answer the question concerning the influence of the means of measurement on accuracy of the final cartometric properties of the generated products, as well as on the effectiveness and efficiency of particular technological solutions. Evaluation of cartometric properties of generated true-orthophoto images, resulting from various initial data, has been performed by monoplottling of buildings outlines and comparing them with the reference data.

dr inż. Michał Kowalczyk  
e-mail: mikowalczyk@wp.pl  
telefon: 22 234 76 94

dr inż. Piotr Podlasiak  
e-mail: p.podlasiak@gik.pw.edu.pl  
telefon: 22 234 76 94

dr inż. Ryszard Preuss  
e-mail: ryszard.preuss@wp.pl  
telefon: 22 234 76 94

dr inż. Dorota Zawieska  
e-mail: d.zawieska@gik.pw.edu.pl  
telefon: 22 234 76 94