

**WSPOMAGANIE PROGRAMOWE MANUALNEGO
POZYSKIWANIA LINII STRUKTURALNYCH DACHÓW
DLA GENEROWANIA TRUE ORTHO***

**PPROGRAM SUPPORT FOR MANUAL ACQUISITION
OF STRUCTURAL LINES OF ROOFS
IN TRUE ORTHO GENERATION**

Michał Kowalczyk, Piotr Podlasiak, Ryszard Preuss, Dorota Zawieska

Zakład Fotogrametrii, Teledetekcji i Systemów Informacji Przestrzennej,
Politechnika Warszawska

SŁOWA KLUCZOWE: ortofotomapa, true-ortho, martwe pola, NMPT, stereodigitalizacja, obrysy budynków

STRESZCZENIE: Ortofotomapa cyfrowa jest istotnym składnikiem baz danych GIS. Posiada ona jednak szereg wad w obszarach zabudowanych. Wady te są eliminowane w procesie generowania true-ortho z uwzględnieniem precyzyjnego Numerycznego Modelu Pokrycia Terenu, czyli z uwzględnieniem struktury dachów. Model NMPT decyduje o jakości produktu finalnego. Proces generowania NMPT składa się z szeregu etapów technologicznych przebiegających przy różnym stopniu automatyzacji. NMPT w obszarach o dużym zagęszczeniu budynków i skomplikowanej strukturze dachów tworzony automatycznie nie spełnia najczęściej kryteriów jakościowych. Dlatego też przy tworzeniu precyzyjnych true-ortho, jest on w dalszym ciągu pozyskiwany manualnie. Programy tworzące true-ortho wczytują dane wektorowe w formacie DXF, który jednak nie zapewnia odpowiedniej kontroli zapisu struktury dachów. Wykorzystując oprogramowanie OrthoMaster firmy Inpho, wymaganych jest szereg kryteriów dla danych inicjalnych opisujących strukturę dachów. W niniejszym artykule omówiono funkcjonalność, tworzonych w ramach prowadzonego projektu badawczego, aplikacji do odpowiedniego zapisu danych wektorowych, podczas manualnego pozyskiwania i edycji linii strukturalnych dachu. Zadaniem tych aplikacji jest korekta występujących błędów w postaci przecinania się obrysów dachów i kalenic. Utworzone aplikacje programowe badają i korygują odpowiednie kryteria geometryczne i poprawiają zapisy wektorowe pozyskanych typów obiektów wprowadzanych ostatecznie do programu generującego true-ortho. Opracowane aplikacje programowe w sposób istotny zwiększają efektywność i jakość tworzonego NMPT i wtórnice produktu końcowego w postaci true-ortho.

1. WPROWADZENIE

Cyfrowa ortofotomapa stała się powszechnym produktem geomatycznym zasilającym różnego typu bazy danych przestrzennych. Jest ona doskonałym źródłem danych do zasilania baz wektorowych dla obszarów odkrytych. Dzięki posiadanej georeferencji i dobrej jakości kartometrycznej pozwala na efektywne pozyskiwanie danych wektorowych 2D. Atrakcyjność tego produktu wzmacnia dodatkowo relatywnie niski jego koszt, dzięki wysoce zautomatyzowanemu procesowi wytwarzania. Cyfrowa ortofotomapa ma jednak istotny mankament: prawidłową lokalizację na niej mają obiekty leżące na 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. Obrazy dachów są przesunięte (zgodnie z rzutem środkowym) w funkcji wysokości budynku, jego lokalizacji na zdjęciu. Dodatkowo widoczne są fasady budynków, a fragmenty powierzchni terenu są przesłonięte przez dachy budynków tworząc – tzw. martwe pola (Rys.1).



Rys. 1. Przykład błędnej lokalizacji obiektów „wystających” na ortofotomapie.

W terenach zurbanizowanych (miejskich) ortofotomapa nie jest kartometryczna dla obiektów wystających ponad powierzchnię topograficzną opisaną NMT. Taka ortofotomapa w obszarze zabudowanym nie może również być źródłem opracowania mapy wektorowej, tworzonej poprzez wektoryzację ekranową jej obrazu, co stanowi obecnie podstawową technikę tworzenia takich map.

Produktem pozbawionym powyższych wad jest true-ortho, określane również jako „prawdziwy ortoobraz”, czy „rzeczywisty” ortoobraz. True-ortho jest rzutem ortogonalnym wszystkich obiektów zarejestrowanych na zdjęciu, zarówno powierzchni topograficznej terenu, jak i obiektów „wystających” ponad tę powierzchnię, jak roślinność, budynki, mosty i inne obiekty antropogeniczne, nie włączone do NMT (Nielsen, 2004). W praktyce zawęża się zwykle kategorie obiektów ortorektyfikowanych – poza powierzchnią terenu – do budynków, mostów i wiaduktów.

Źródłem danych wysokościowych dla modelowania budynków może być (Kurczyński, Preuss, 2009):

- 1) Manualny pomiar stereoskopowy na stacji fotogrametrycznej (stereodigitalizacja), czego wynikiem jest zwykle wektorowy, „szkieletowy” model (określany również jako „drutowy”). Jest to najdokładniejsze i najlepsze modelowanie z punktu widzenia potrzeb generowania true-ortho. Jest to jednak proces czasochłonny.
- 2) Automatyczny pomiar na stacji fotogrametrycznej, poprzez dopasowanie obrazów (*image matching*). W wyniku uzyskuje się „chmurę punktów” XYZ, w strukturze GRID lub TIN, reprezentujących kształt dachów budynków i innych obiektów. W kontekście modelowania brył budynków dla generowania true-ortho brak jest bezpośrednich krawędzi brył, w tym obrysu dachów i linii załamania płaskich płatów, oddających przestrzenną formę dachu. Problemem jest również bardzo duża objętość danych pomiarowych.
- 3) Lotniczy skaningu laserowy, dający „chmurę” punktów XYZ reprezentujących kształt dachów budynków i innych obiektów. Jest to więc forma danych zbliżona do automatycznego pomiaru fotogrametrycznego. Dane skaningu laserowego mają podobne ograniczenia jak wynik dopasowania obrazów. W kontekście modelowania budynków dla generowania true-ortho zaletą danych skaningu laserowego jest częściowa penetracja promienia laserowego przez roślinność i możliwość rejestracji więcej niż jednego odbicia („echa”) danego impulsu laserowego. Dla obszaru pokrytego roślinnością oznacza to możliwość rozróżnienia koron drzew od powierzchni gruntu.

Efektywność technologii true-ortho zależy od stopnia automatyzacji ekstrakcji brył budynków z danych skaningu laserowego (Gołębiowski, 2008) lub danych z automatycznego dopasowania obrazów. Jednakże na obszarach zwartej zabudowy i przy dużej różnorodności typów dachów budynków metoda manualnej stereodigitalizacji w dalszym ciągu odgrywa zasadniczą rolę wpływającą na jakość produktu finalnego. Wstępne analizy dotyczące rodzaju danych opisujących modele 3D budynków zostały przedstawione w artykule Bujakiewicz, Preuss (2009). Produkt manualnej stereodigitalizacji w postaci wektorowych obrysów dachów musi spełniać szereg warunków zdefiniowanych przez program generujący true-ortho. Warunki te trudno zrealizować na etapie prowadzenia obserwacji, dlatego też wymagają one wtórnej edycji. W niniejszym artykule prezentowane są algorytmy do automatycznej korekcji obrysów dachów budynków opracowane w trakcie realizacji pracy badawczej „Badanie jakości true-ortho w aspekcie wykorzystywanych do jego generowania danych źródłowych”- nr N N 526 0668 33.

2. WYMAGANIA PROGRAMU ORTHOMASTER FIRMY INPHO DLA BUDOWY NMPT

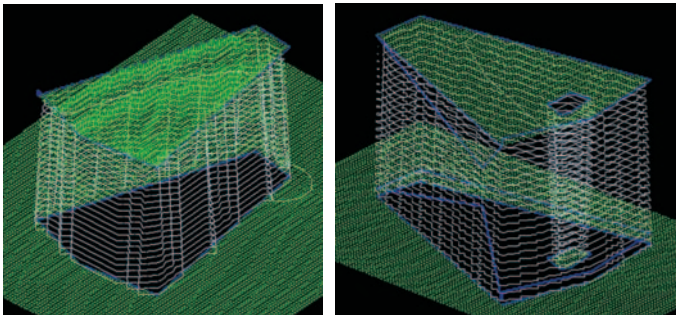
Dane wektorowe opisujące kształty dachów budynków są rejestrowane jako poligony typu 3D i muszą spełniać następujące warunki:

- poszczególne poligony nie mogą się przecinać z innymi i same ze sobą,
- różne poligony mogą mieć punkty wspólne (uzyskane przez snapowanie), ale nie mogą mieć wspólnych krawędzi (tzn. krawędź wspólna dwu budynków musi być oddzielna dla każdego z budynków, pomimo tego, że mogą się one pokrywać),
- obwód dachu powinien stanowić łamaną zamkniętą, nieprzecinającą się z żadnym innym obiektem, w rzucie na płaszczyznę XY,
- poszczególne odcinki grzbietu dachu (kalenice) nie mogą się przecinać z obrysem dachu - mogą go „dotykać” – być „dosnapowane” w XY,
- studnie (wewnętrzny obszar pomiędzy budynkami) należy zdefiniować jako poligon zamknięty na wysokości gruntu,
- w przypadku wielopoziomowych dachów wyższe partie dachów przesłaniają niższe.

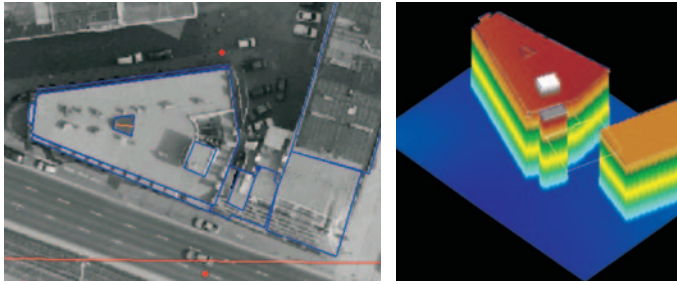
Ostatecznie obrysy dachów budynków są integrowane z NMT w celu wygenerowania NMPT (Rys. 2) według następujących reguł:

- obrysy budynków są duplikowane,
- jeden jest obniżony do poziomu NMT (lub niższej warstwy),
- wierzchołki drugiego są przesuwane do wewnątrz, w celu wyeliminowania niejednoznaczności w budowie NMPT,
- dla tak utworzonej piramidy tworzony jest (wewnętrznie) NMPT rastrowy, który jest łączony z NMT,
- tworzona jest maska widoczności.

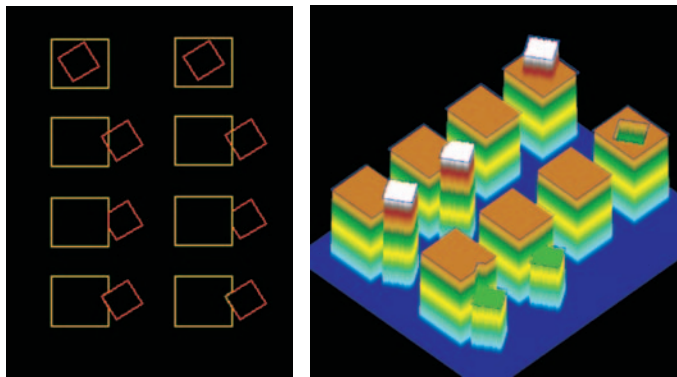
Odstępstwo od tych zasad powoduje powstawanie szeregu błędów, które są ilustrowane na rysunkach 3 i 4. Sytuacja ilustrowana na rysunku 4 została zasymulowana



Rys. 2. Przykład generowania NMPT przez program OrthoMaster.



Rys. 3. Wpływ błędnego pomiaru obrysów budynków na generowane true-ortho.



Rys. 4. Prezentacja graficzna interpretacji danych wektorowych obrysów dachów w programie OrthoMaster.

sztucznie, szeregiem możliwych do wystąpienia przypadków stereodigitalizacji stykających się obiektów. Wyniki tego eksperymentu wykorzystano przy testowaniu funkcjonalności, wykorzystywanego w badaniach programu OrthoMaster oraz uwzględnieniu tych wyników przy przygotowywaniu aplikacji programowych wspomagających proces manualnej stereodigitalizacji na fotogrametrycznej stacji cyfrowej.

3. FUNKCJONALNOŚĆ METODY AUTOMATYCZNEJ

Model obrysów dachów, wymagany przez program OrthoMaster, powinien być zapisany w postaci danych wektorowych w popularnym formacie DXF. Tworzenie tych danych, przypada w udziale obserwatorom, podczas stereodigitalizacji stereogramów z wykorzystaniem cyfrowych stacji fotogrametrycznych. Pomiar i edycja prowadzona przez obserwatorów jest obciążona licznymi błędami i niedociągnięciami. Mogą być one

spowodowane różnymi czynnikami jak: brak widoczności fragmentów dachu, zachodzenie na siebie, skomplikowaną strukturę szkieletu dachu, czy zwykłe pomyłki.

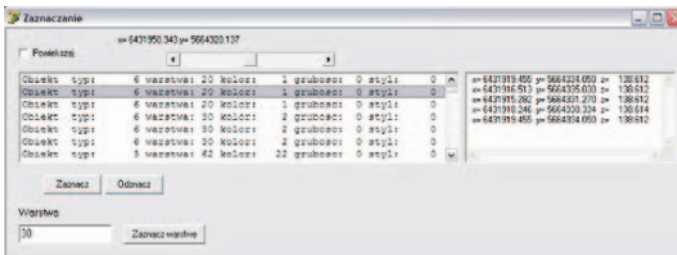
Wymienione przypadki powodują błędne działanie programu wykonującego ortorektyfikację – OrthoMaster. Tworzony przez program NMPT może wtedy nie uwzględnić błędnych fragmentów struktury szkieletów dachów bądź nawet całych obramowań – krawędzi, tak jak to przedstawiono w rozdziale 2.

Analizując występujące błędy manualnego sposobu pozyskiwania danych, dotyczących struktury poszczególnych dachów, postanowiono skorygować je przy pomocy specjalnie opracowanej aplikacji komputerowej. Zaproponowana aplikacja działa na zasadzie automatycznej, zgodnie z potrzebami programu tworzącego NMPT. Uwzględnia takie elementy jak zamykanie obrysów granicznych poszczególnych dachów budynków oraz poprawia elementy przecinających się krawędzi. Jest to niezbędne do prawidłowej interpretacji danych w dalszych krokach procesu technologicznego tworzenia true-ortho. Realizacja automatyczna takiego procesu edycji danych, pozwala na ograniczenie pracochłonności czynności wykonywanych manualnie.

Działanie programu do korekty informacji wektorowych składa się z następujących etapów:

- założenie struktury danych składającej się ze zbioru punktów oraz obiektów będących liniami łamanymi,
- wczytanie pliku wektorowego DXF i umieszczenie jego elementów w utworzonej strukturze,
- korekcja elementów pod względem logicznym i geometrycznym,
- nadanie numerów budynkom,
- zamykanie obramowań dachów,
- usuwanie konfliktów takich jak zachodzenie na siebie budynków i innych obiektów (kalenic, kominów itp.),
- korekcja wysokości, jeżeli poszczególne obiekty mają mieć stałą jej wartość,
- eksport skorygowanych elementów do pliku graficznego DXF.

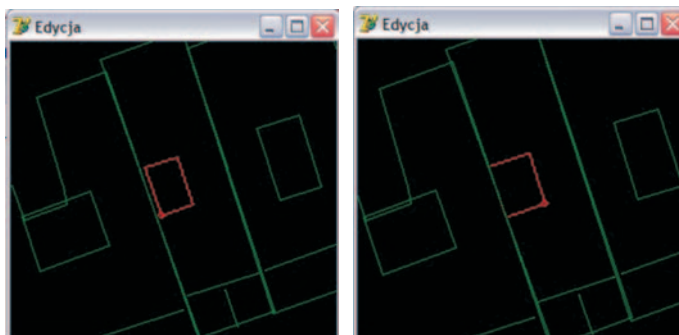
Kontrola struktury danych przedstawiona jest na rysunku 5. Po lewej stronie okna znajduje się lista obiektów zaimportowanych ze zbioru DXF. Po prawej stronie współrzędne punktów należących do wybranego obiektu (może nim być obramowanie budyn-



Rys. 5. Lista obiektów wektorowych przeznaczonych do korekcji.

ku, kalenica lub komin). Możliwe jest zaznaczanie do poszczególnych operacji obiektów według warstwy lub wskazania.

Niektóre czynności wykonywane przez program nie mogą być realizowane w sposób w pełni automatyczny, więc interwencja operatora jest niezbędna. Dotyczy to sytuacji usuwania konfliktów zachodzenia na siebie obiektów w rzucie na płaszczyznę XY. W tym przypadku konieczne jest podjęcie decyzji co do właściwego przebiegu granicy między budynkami. Na rysunku 6 przedstawiona jest sytuacja zachodzenia na siebie

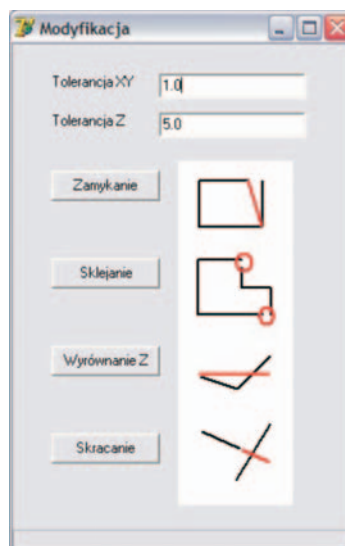


Rys. 6. Korekcja przebiegu granicy dachu.

dwóch obramowań dachu i przeprowadzenie manualnej korekcji dla późniejszego wykonania poprawnego NMPT.

Automatyczne usuwanie problemów dotyczy wyszukiwania odpowiadających sobie obiektów dotyczących lokalizacji np. znajdowanie kalenic odpowiadających danemu obramowaniu dachu budynku. Dotyczy to również wyrównywania wysokościowego granic obiektów zamkniętych oraz zamykania obiektów. Czynności te przedstawione są w formie okna dialogowego na rysunku 7.

Numerowanie dachów odbywa się poprzez zaznaczenie obiektu zamkniętego i następnie program wyszukuje wszystkie elementy leżące w obrębie danego obwodu dachu. Przeprowadzona weryfikacja działania tej aplikacji na obszarze testowym (fragment miasta Wrocławia) wykazała, że ponad 90% błędów i konfliktów powstałych na etapie manualnego pozyskiwania danych można skorygować metodą automatyczną.



Rys. 7. Wybór czynności korekcyjnych dostępnych jako automatyczne działanie na zbiorze danych wektorowych.

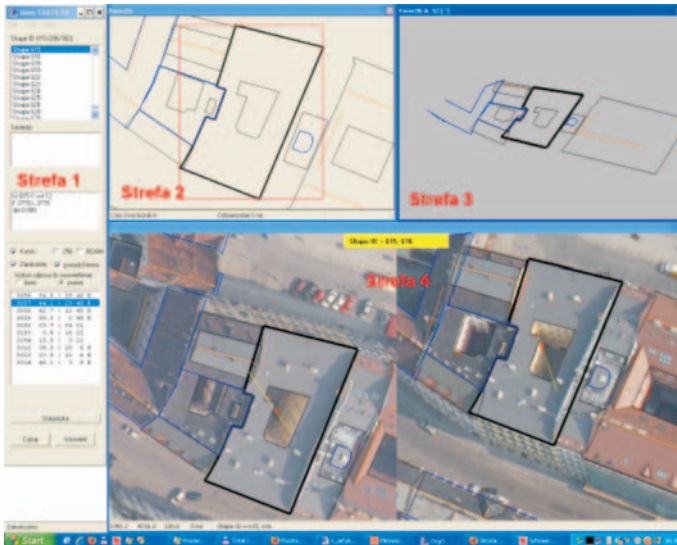
4. FUNKCJONALNOŚĆ METODY PÓLAUTOMATYCZNEJ

Brak 100% „skuteczności” aplikacji automatycznej skłonił autorów niniejszej publikacji do jej uzupełnienia dodatkową aplikacją półautomatyczną wymagającą interwencji operatora, która jednak nie odbywa się na fotogrametrycznej stacji cyfrowej. Opracowana aplikacja półautomatyczna posiada następującą funkcjonalność:

- odczytuje projekt ze stacji Image Station firmy Intergraph (nazwy plików ze zdjęciami, orientacja zdjęć),
- wspomaga manualne tworzenie obiektów z odpowiednią hierarchią (do obrysu dachu zostają przyporządkowane nadbudówki, studnie, kalenice),
- kontroluje poprawność rejestracji: wykrywa niedomknięcia, przecinania linii, wymuszanie ustalonej wartości Z,
- łączy (snapowanie) i przycina linie w XY z zachowaniem Z,
- umożliwia pomiar kursorem 3D na dwóch zdjęciach z możliwością wyboru dowolnej pary z dostępnych zdjęć,
- pozwala na import/eksport danych w formacie DXF i zapis zmodyfikowanego pliku.

Rysunek 8 przedstawia widok okna głównego programu, można w nim wyróżnić następujące strefy:

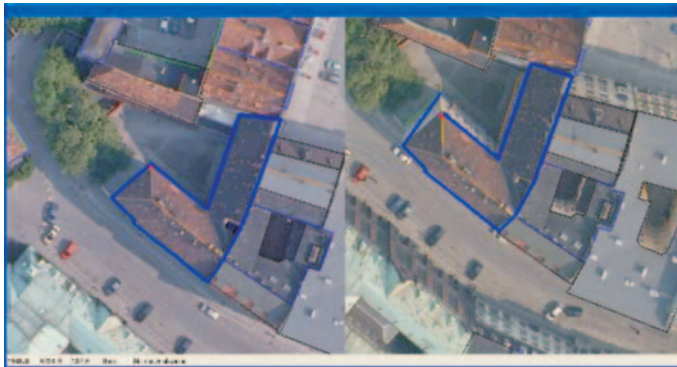
- 1) (lewa kolumna) – informacje tekstowe, numery ID budynków, numery zdjęć na których obiekt jest widoczny itp.,



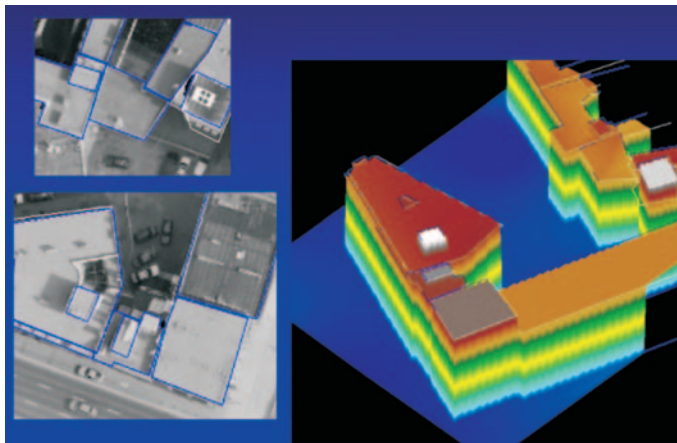
Rys. 8. Widok okna programu aplikacji półautomatycznej.

- 2) (górze po lewej) – widok 2D z wyróżnionym aktualnie sprawdzanym obiektem, kolory sygnalizują rodzaje obiektów otaczających (zamknięty/otwarty),
- 3) (górze po prawej) – widok 3D z możliwością obrotu i skalowania,
- 4) (dolna część) – widok obiektów zrzutowanych na płaszczyznę dwóch dowolnie wybranych (z listy dostępnych zdjęć).

Na rysunkach 9 i 10 przedstawiono przykłady działania aplikacji półautomatycznej, która umożliwia wykorzystanie innego zdjęcia do wykrycia błędów stereodigitalizacji (Rys. 9), oraz korekty przecinających się obrysów budynków (Rys. 10).



Rys. 9. Przykład wykorzystania zdjęcia z innego szeregu do wykrycia błędu digitalizacji.



Rys. 10. Przykład poprawienia błędnej sytuacji z rysunku 3 – poprawiono przecinające się zarzysy budynków.

5. PODSUMOWANIE

Geometryczny opis obrysów dachów może charakteryzować się różną jakością geometryczną i poprawną topologiczną, co skutkuje określoną przydatnością tych danych na proces generowania true ortoobrazu. W wyniku przeprowadzonych eksperymentów potwierdzone zostały zasady odpowiedniego pozyskiwania struktury dachów, których dane muszą być dostosowane do wymogów inicjalnych, akceptowanych przez oprogramowanie realizujące true ortoobraz. Prowadzone prace badawcze wykazały, że na etapie manualnej stereodigitalizacji obrysów dachów powstaje szereg błędów, które przenoszą się na generowany produkt w postaci true-ortho. Błędy te są nie do uniknięcia przy pracy z edytorami graficznymi typu CAD i są stosunkowo liczne. Dlatego istotnym staje się wtórna obróbka pozyskiwanych danych przy pomocy dodatkowych aplikacji programowych. Wykonane aplikacje, w ramach realizowanej pracy badawczej, w sposób zasadniczy rozwiązują problem korekcji błędów kodowania powstałych na etapie pomiaru i przyczyniają się do zwiększenia efektywności tworzenia NMPT z wykorzystaniem procesu manualnej stereodigitalizacji.

6. LITERATURA

Bujakiewicz A., Preuss R., 2009. Ocena możliwości automatycznej rekonstrukcji 3D modeli budynków z danych fotogrametrycznych. *Artykuł złożony w czerwcu 2009 r. do publikacji w Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji.*

Gołębiowski K., 2008. *Ekstrakcja budynków z danych LIDAR dla terenów miejskich.* Praca dyplomowa magisterska. Zakład Fotogrametrii Teledetekcji i SIP, Politechnika Warszawska.

Kurczyński Z., Preuss R., 2009. Wymagania wobec danych źródłowych dla generowania true-ortho. *Artykuł złożony w czerwcu 2009 r. do publikacji w Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji.*

Nielsen M., 2004. *True orthophoto generation.* Master thesis. Technical University of Denmark.

PROGRAM SUPPORT FOR MANUAL ACQUISITION OF STRUCTURAL LINES OF ROOFS IN TRUE ORTHO GENERATION

KEYWORDS: orthophotomap, true-ortho, visibility map, digital surface model (DSM), building extraction

SUMMARY: Orthophoto is a relevant component of the GIS database. However it has several drawbacks in urban areas, which can be eliminated when true ortho, based on a precise Digital

Surface Model, is applied. Such DSM takes into account the structure of roofs. The DSM model plays a key role in determining the quality of the final product. The generation of the DSM process consists of a series of technological stages working with different levels of automation. The DSM for very densely built-up areas and the complex structure of roofs usually does not meet the quality requirements when an automatic process is applied. Therefore a true ortho DSM should still be manually prepared if it is to be accurate. Software for true ortho generation usually requires the vector data in DXF format as an input - which does not provide proper control for the roof structures. Using Inpho OrthoMaster software, several criteria have to be fulfilled for the initial data which describe the roof structures. In this paper, the functionality of the computer programs prepared by the authors to adequately describe vector data used during the manual acquisition and editing of the structural lines of the roofs was presented. The task of those programs is to correct existing errors like crossing roof boundaries and combs. The software which has been prepared allows one to analyse and adjust the required geometric criteria and correct the vector description of the types of object required which in the end are entered into the program generating true ortho. Such programs considerably improve the effectiveness of producing DSMs and also accelerate the whole process of true ortho production.

dr inż. Michał Kowalczyk
mikowalczyk@wp.pl
telefon: +48 22 2347694

dr inż. Piotr Podlasiak
p.podlasiak@gik.pw.edu.pl
telefon: +48 22 2347694

dr inż. Ryszard Preuss
ryszard.preuss@wp.pl
telefon: +48 22 2347694

dr inż. Dorota Zawieska
d.zawieska@gik.pw.edu.pl
telefon: +48 22 2347694

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

