

Piotr Gołuch  
Andrzej Świątkiewicz

## **PREZENTACJA WYNIKÓW PRAC Z ZAKRESU FOTOGRAMETRII CYFROWEJ WYKONANYCH W KATEDRZE GEODEZJI I FOTOGRAMETRII AKADEMII ROLNICZEJ WE WROCŁAWIU**

### **Streszczenie**

W publikacji przedstawione są wybrane prace zrealizowane w Katedrze Geodezji i Fotogrametrii Akademii Rolniczej we Wrocławiu z wykorzystaniem fotogrametrycznej stacji cyfrowej ImageStation ZIV oraz autografów cyfrowych VSD-AGH i DVP. Prace te dotyczą opracowania numerycznych map wektorowych, numerycznych modeli terenu oraz ortofotomap wybranych obszarów z Polski południowo-zachodniej.

### **1. Wprowadzenie**

Od roku 1996 prowadzone są w Katedrze Geodezji i Fotogrametrii Akademii Rolniczej we Wrocławiu prace z zakresu fotogrametrii cyfrowej. Prace te bazują na autografach cyfrowych Video Stereo Digitizer (VSD-AGH zakupiliśmy w 1997 r.) i Digital Video Plotter (DVP), jak również na fotogrametrycznej stacji cyfrowej ImageStation ZIV, którą posiadamy od 1999 r.. Prezentowane niżej opracowania wykonano w ramach prac magisterskich oraz prac badawczych prowadzonych w naszej Katedrze.

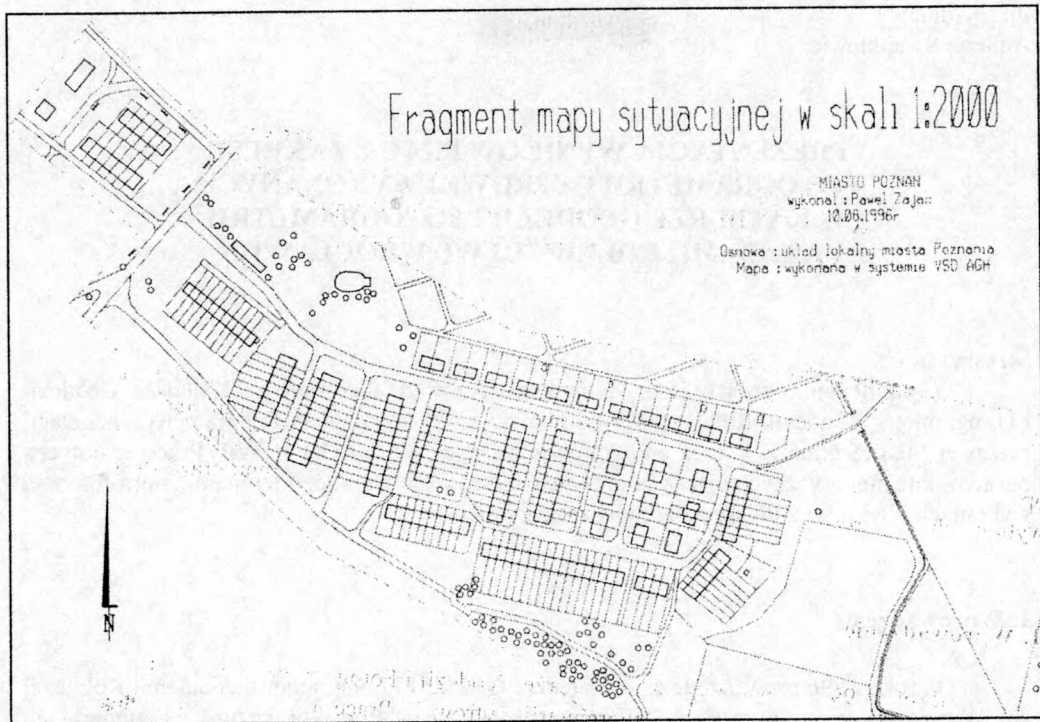
### **2. Obiekty badawcze**

#### **2.1. Miasto POZNAŃ – fragment dzielnicy GRUNWALD**

Materiałem wyjściowym były 3 zdjęcia lotnicze miasta Poznania w skali 1:6500 (wykonane w maju 1995 r.), współrzędne fotopunktów oraz odbitka mapy sytuacyjnej z 1973 r. w skali 1:2000. Materiały te udostępniła poznańska firma GEOPOZ. Celem pracy było zapoznanie się z autografami cyfrowymi DVP i VSD-AGH oraz zbadanie przydatności tych systemów do tworzenia i aktualizacji mapy sytuacyjnej w skali 1:2000 [Romėjko B., 1996; Zajac P., 1996]. Zdjęcia zeskanowano z rozdzielczością 800 dpi (opracowanie na DVP) i 600 dpi (opracowanie na VSD). Mapy wektorowe stworzone w tych systemach poddano

ostatecznie obróbce w pakiecie MicroStation. Przykład opracowanej mapy wektorowej na VSD i zredagowanej w pakiecie MicroStation przedstawiono na rys. 1.

Wykonane prace wykazały, że te dwa autografy cyfrowe nadają się do tworzenia i aktualizacji mapy sytuacyjnej. Działania te przeprowadzono w 1996 r..



Rys. 1: Przykład opracowania mapy wektorowej z VSD w systemie MicroStation –pomniejszenie.

## 2.2. Gmina WARTA – zbiornik retencyjny „JEZIORSKO”

Celem pracy, wykonanej w 1998 r., było zbadanie przydatności zdjęć w skali 1:26 000 z programu PHARE do tworzenia mapy zbiornika retencyjnego na osnowie mapy topograficznej w skali 1:10 000 [Siodlak W., 1998; Świątkiewicz A., Gotuch P., 1999]. Materiałami wyjściowymi, które udostępnił Wojewódzki Ośrodek Dokumentacji Geodezyjno-Kartograficznej w Sieradzu, były 3 sekcje mapy topograficznej w skalach 1:10 000 i 7 zdjęć w skali 1:26 000 (6 stereogramów), wykonanych w 1996 roku. Zdjęcia zeskanowano z rozdzielczością 900 dpi (28  $\mu\text{m}$ ) i opracowano w systemie VSD. Współrzędne fotopunktów pozyskano z plansz map w skali 1:1000.

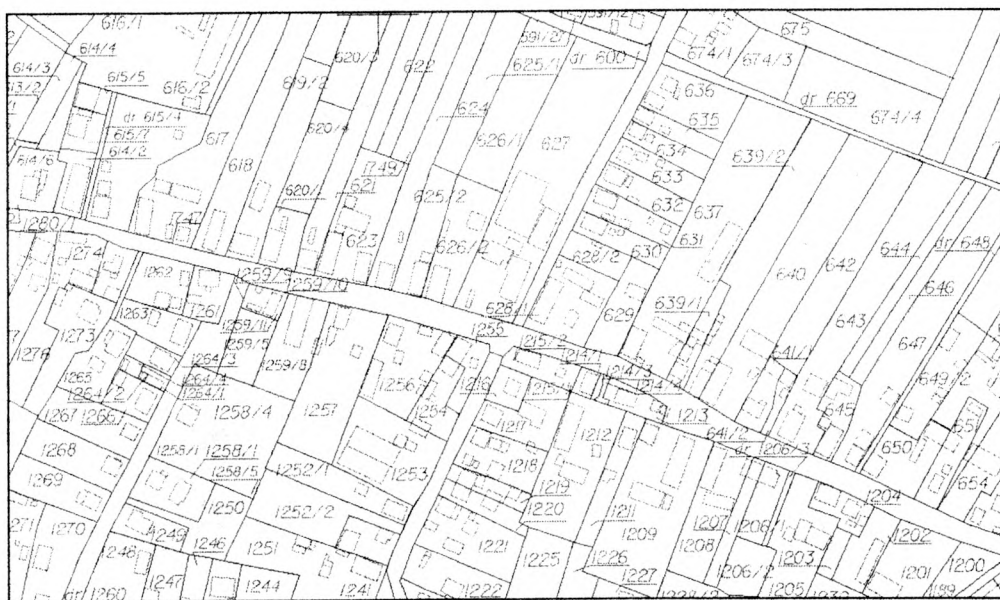
W celu zbadania dokładności opracowanej mapy czytano współrzędne 143 punktów kontrolnych z operatów pomiarowych oraz map w skali 1:1000 i 8 punktów kontrolnych z map w skali 1:10 000, które porównano ze współrzędnymi uzyskanymi z prac fotogrametrycznych. Obliczony średni błąd położenia punktu  $m_p$  wyniósł  $\pm 0,2$  mm w skali 1:10 000.

Z przeprowadzonych badań wynika, że zdjęcia kolorowe w skali 1:26 000 są przydatne i nadają się do aktualizacji mapy tego obszaru w skali 1:10 000.

### 2.3. Gmina OŁAWA – wieś BYSTRZYCA OŁAWSKA

Celem opracowania była próba wykorzystania zdjęć wykonanych w programie PHARE do aktualizacji mapy ewidencyjnej siedliska wsi Bystrzyca Oławska w skali 1:5000. Jest to obszar o powierzchni około 500 ha, który znajduje się na dwóch zdjęciach w skali 1:26 000 [Paliwoda M., 1999; Świątkiewicz A., Goluch P., 1999]. Zdjęcia zeskanowano w CODGiK z rozdzielczością 1016 dpi (25 µm w skali zdjęcia, około 65 cm w terenie). Współrzędne ośmiu fotopunktów odczytano z map w skali 1:1000. Pomiar zdjęć przeprowadzono w systemie VSD. Na rys. 2 przedstawiono fragment stworzonej mapy po edycji w MicroStation.

Dokładność stworzonej mapy zbadano w oparciu o współrzędne 329 szczegółów terenowych szczytanych z operatorów pomiarowych i map w skali 1:1000. Szczegółami tymi były granice załamania działek i narożniki budynków. W rezultacie porównania współrzędnych uzyskano średni błąd  $m_p = \pm 2,29$  m, co w skali mapy 1:5000 daje błąd  $\pm 0,46$  mm. Jest to wynik niezadowolający, ponieważ nie został spełniony parametr dokładnościowy dla mapy 1:5000 (0,3 mm w skali mapy). Wniosek – dla tego obiektu w takim sposobie opracowania nie można wykorzystać zdjęć w skali 1:26 000 do aktualizacji mapy ewidencyjnej/sytuacyjnej w skali 1:5000.

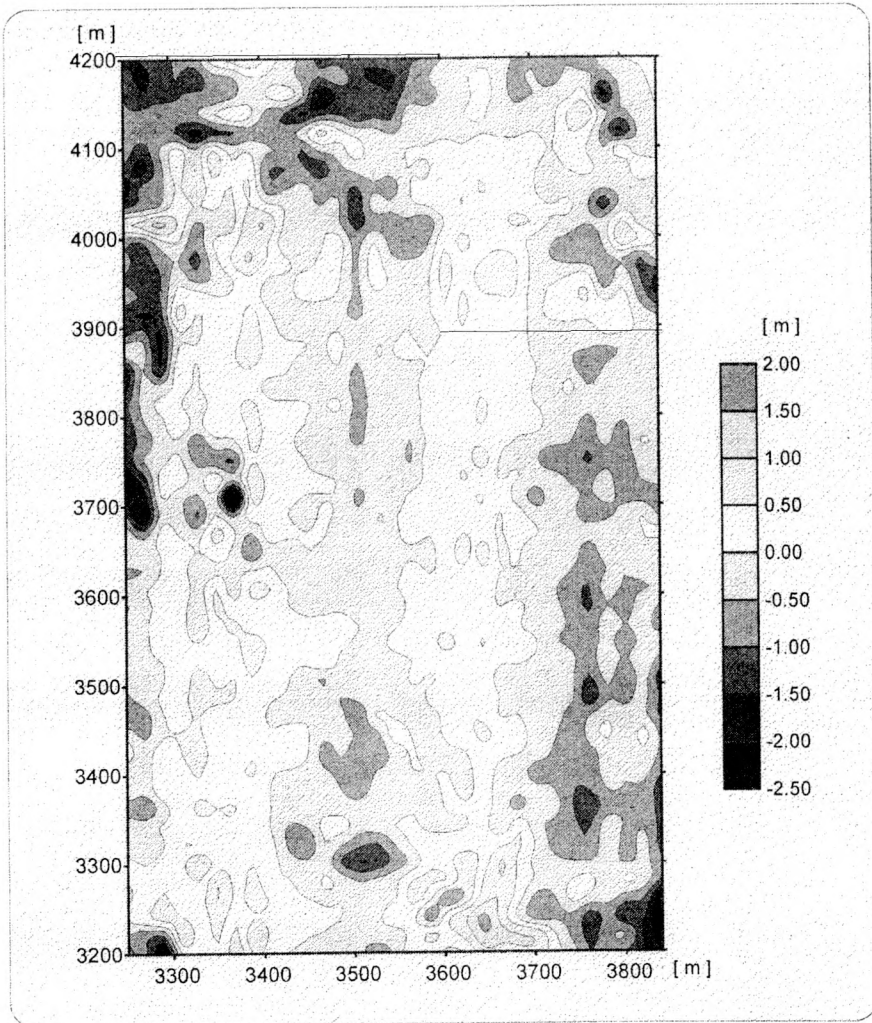


Rys. 2: Fragment mapy ewidencyjnej wsi Bystrzyca Oławska opracowanej w systemie VSD i zredagowanej w pakiecie MicroStation

#### 2.4. Poligon fotogrametryczny „WIELICZKA”

W pracy porównano trzy metody fotogrametrycznego pomiaru rzeźby terenu: pomiar zdjęć na stekometrze (metoda analityczna), pomiar zdjęć na autografie cyfrowym VSD-AGH (metoda cyfrowa) oraz pomiar na fotogrametrycznej stacji cyfrowej ImageStation ZIV (metoda cyfrowa) [Kliber S., Michalski A., 1999; Michalski A., Kliber S., Gotuch P., Świętkiewicz A., 2000].

Materiałem źródłowym był stereogram w skali 1:5000 wykonany na poligonie fotogrametrycznym koło Wieliczki. Do opracowań cyfrowych diapozytywy zdjęć zeskanowano z rozdzielczością 1000 dpi (piksel o wielkości 25,4  $\mu\text{m}$  w skali zdjęcia, w terenie około 12 cm).



Rys. 3: Mapa różnic wysokości między NMT opracowanym na podstawie pomiaru na stekometrze a opracowanym na ImageStation ZIV

Pomiar na stekometrze i VSD wykonano w siatce o boku odpowiadającym w terenie około 30–35 m. Dodatkowo pomierzono punkty wzdłuż elementów liniowych, takich jak drogi, cieki wodne, itp.. W obu tych opracowaniach pomierzono po około 1400 punktów. Natomiast na stacji ImageStation ZIV pomiar przeprowadzono z wykorzystaniem automatycznego generowania NMT (oprogramowanie IS Match-T) – zdefiniowano tu do obliczenia NMT bok siatki o wielkości 7,5 m w terenie. Program przefiltrował prawie 970 tysięcy punktów, z których do tworzenia NMT wybrał niecałe 16 tysięcy. Obliczenia na naszej stacji trwały 2,5 min. Z raportu, po wygenerowaniu numerycznego modelu terenu programem Match-T, wynika, że teoretyczna dokładność określenia wysokości w tworzonej NMT to  $\pm 0,28$  m, zaś obliczona ostateczna wyniosła  $\pm 0,05$  m (jest to 0,06‰ wysokości lotu).

W celu określenia dokładności metod pomiaru wysokości w każdym przypadku pomierzono 40 sygnalizowanych w terenie fotopunktów (punkty kontrolne), które nie brały udziału w orientacji bezwzględnej. Dla tych punktów obliczono różnice pomiędzy uzyskanymi rzędnymi a wysokościami katalogowymi. W tabeli 1 zamieszczono obliczone średnie błędy wysokości dla punktów sygnalizowanych. Mniejszy błąd wyznaczenia wysokości dla punktów sygnalizowanych w metodzie analitycznej wynika w pierwszym rzędzie z instrumentalnej dokładności pomiaru (stekometr 5  $\mu$ m, piksel 25,4  $\mu$ m). Zauważono również, że na obrazach skanowanych sygnalizowane w terenie krzyżem punkty odwzorowane są mniej jednoznacznie.

Tabela 1.

Instrument pomiarowy	Średni błąd wyznaczenia wysokości punktu
Stekometr	$\pm 0,09$ m
VSD	$\pm 0,25$ m
IS ZIV	$\pm 0,26$ m

Przy użyciu programu SURFER porównano numeryczne modele terenu zbudowane na podstawie pomiaru siatek. Na rys. 3 przedstawiono mapę różnic wysokości między NMT uzyskanym na podstawie danych ze stekometru a NMT wygenerowanym na ImageStation ZIV. Na mapie tej widać, że dla większości obszaru (ponad 80%) różnice wynoszą  $\pm 0,50$  m. Występowanie większych odchyłeń można wytłumaczyć dwoma czynnikami. Po pierwsze badany teren jest bardzo zróżnicowany wysokościowo, znajdują się tu wyrobiska, usypane kopce, itp. – 30-metrowa siatka mogła być zbyt rzadka i konieczne byłoby zagęszczenie jej; po drugie małe doświadczenie operatora (dyplomanta) w obserwacji stereoskopowej w trakcie pomiaru na stekometrze.

Wniosek z przeprowadzonych badań jest taki, że za pomocą trzech przedstawionych sposobów pomiaru można uzyskać podobne i wystarczające pod względem dokładności numeryczne modele terenu, jednak zaawansowanie technologiczne daje przewagę stacji roboczej ImageStation, na której czas opracowania jest kilkaset razy krótszy.

## 2.5. Gminy: STRONIE ŚLĄSKIE, MIĘDZYLESIE, KAMIENIEC ZĄBKOWICKI, WISZNIA MAŁA

Dla tych czterech gmin województwa dolnośląskiego zdjęcia lotnicze były podstawą do stworzenia w skali 1:25 000 mapy numerycznej powierzchni zalesionych, zadrzewionych

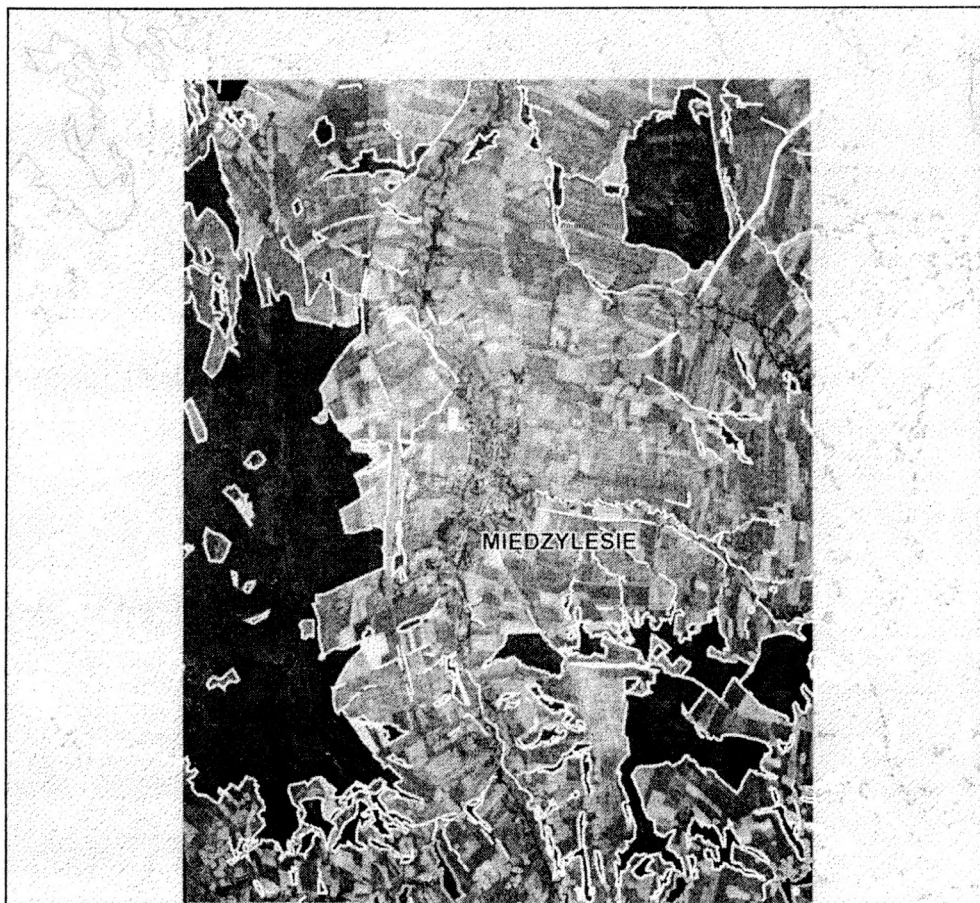
i zakrzaczonych [Klimczak H., 2000]. Prace te wykonano w ramach projektu badawczego Nr 1446/T12/98/15, finansowanego przez Komitet Badań Naukowych w latach 1998-2000.

Dla gmin Stronie Śląskie, Międzylesie i Kamieniec Ząbkowicki wykorzystano zdjęcia lotnicze w skali 1:30 000 z 1994 roku, zaś dla gminy Wisznia Mała zdjęcia z programu PHARE (1:26 000) wykonane w sierpniu 1996 r.. Materiałem wyjściowym były pozytywy tych zdjęć.

Dla gmin Stronie Śląskie i Międzylesie mapę wektorową stworzono w 1999 roku w systemie VSD. Zdjęcia zeskanowano z rozdzielczością 600 dpi. Opracowano 47 zdjęć leżących w 6 szeregach (41 modeli). Współrzędne fotopunktów do orientacji bezwzględnej (od 6 do 12 na stereogram) odczytano z map topograficznych w skali 1:10 000. Ostateczne uzyskane dokładności były wystarczające dla tworzonej mapy 1:25 000. Otrzymaną mapę wektorową poddano edycji w MapInfo.

W roku 2000 dla gmin Wisznia Mała i Kamieniec Ząbkowicki również stworzono podobną mapę numeryczną. Jednak dla tych obszarów przyjęto inną technologię opracowania. Zdjęcia zeskanowano z rozdzielczością 1000 dpi, a następnie przetworzono na fotogrametrycznej stacji cyfrowej ImageStation ZIV. Orientację zewnętrzną zdjęć określono na drodze aerotriangulacji bloku zdjęć. W następnej kolejności wygenerowano numeryczny model terenu i stworzono ortofotografię o rozdzielczości terenowej 1m. Numeryczną mapę powierzchni zalesionych, zadrzewionych i zakrzaczonych opracowano z wykorzystaniem programu MapInfo, w którym przeprowadzono wektoryzację ortofotografii. Stworzona mapa numeryczna spełnia parametry dokładnościowe wymagane dla mapy w skali 1:10 000. Dla gminy Kamieniec Ząbkowicki wykorzystano blok 17 zdjęć leżących w 3 szeregach; zaś dla gminy Wisznia Mała blok 20 zdjęć, ułożonych także w 3 szeregach.

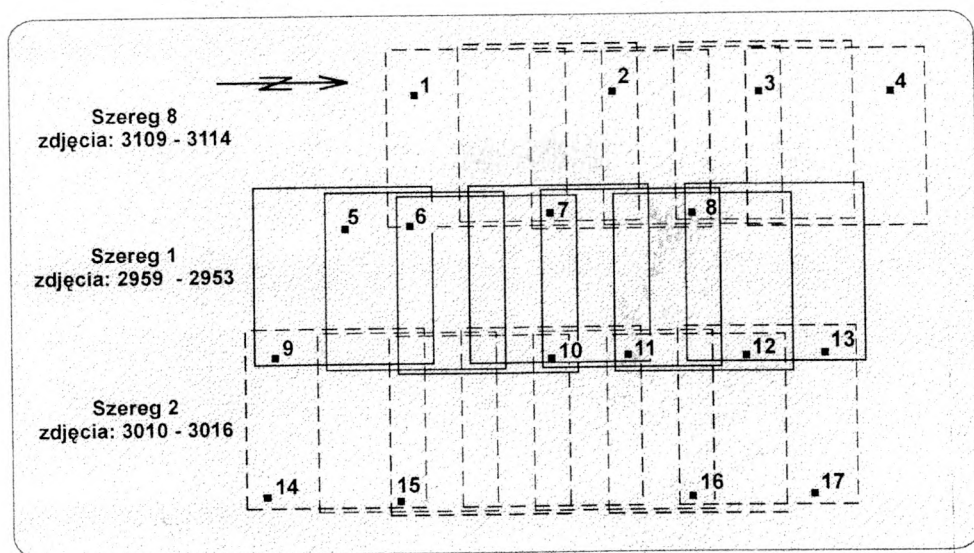
Według takiego samego schematu opracowano również 10 zdjęć (7 modeli) z gmin Międzylesie i Stronie Śląskie w celu weryfikacji mapy wykonanej w systemie VSD. Na rys. 4. przedstawiono fragment stworzonej mapy numerycznej wraz z ortofotografią. Numeryczna mapa wektorowa zawiera elementy powierzchniowe, liniowe i punktowe. Po przeprowadzonej analizie stwierdzono zgodność wykreślonej mapy w systemie VSD z obrazem stworzonej ortofotografii na poziomie dokładności koniecznej dla mapy w skali 1:25 000.



Rys. 4: Fragment mapy numerycznej obszarów zalesionych, zadrzewionych i zakrzaczonych wraz z ortofotografią – obiekt Gmina MIĘDZYLESIE

#### 2.5.1. Obiekt WISZNIA MAŁA – badanie dokładności przeprowadzenia aerotriangulacji na podstawie fotopunktów pomierzonych metodami graficzną i GPS

Dodatkowo na obiekcie Wisznia Mała zbadano dokładność przeprowadzenia aerotriangulacji na podstawie fotopunktów pomierzonych metodami graficzną i GPS [Gołuch P., Klimczak A., 2000]. Do analiz porównawczych brano pod uwagę 17 fotopunktów, których położenie określono na podstawie map topograficznych w skalach 1:10 000 i 1:25 000. Fotopunkty zostały też pomierzone techniką GPS.



Rys. 5: Obiekt WISZNIA MAŁA – układ zdjęć i rozmieszczenie fotopunktów

Pomiar współrzędnych fotopunktów na mapach topograficznych wykonano przy pomocy podziałki z dokładnością graficzną  $\pm 0,3$  mm, co daje dla mapy w skali 1:10 000 dokładność terenową  $\pm 3$  m, a dla mapy w skali 1:25 000  $\pm 7,5$  m. W czasie pomiaru uwzględniony został skurcz podłużny i poprzeczny map. Wysokości fotopunktów na mapach pomierzono na drodze interpolacji z warstwic lub też były zaznaczone jako pikiety. Fotopunkty pomierzone techniką GPS charakteryzują błędy  $m_x$  i  $m_y$ , które nie przekraczają  $\pm 5$  cm oraz błąd  $m_H$  mniejszy od  $\pm 6$  cm. Na podstawie porównania współrzędnych fotopunktów z pomiaru graficznego i GPS określono rzeczywistą dokładność graficznego pomiaru fotopunktów. Wyniki przedstawiono w tabeli 2. Z porównania widać, że na mapach 1:10 000 tego obszaru fotopunkty są skartowane z mniejszą dokładnością niż 0,3 mm w skali mapy.

Tabela 2.

Pomiar fotopunktów na mapach w skali	Obliczone średnie błędy pomiaru fotopunktów metodą graficzną		
	$m_x$ [m]	$m_y$ [m]	$m_z$ [m]
1:10 000	$\pm 4,42$	$\pm 4,18$	$\pm 0,20$
1:25 000	$\pm 7,08$	$\pm 6,83$	$\pm 0,20$

Analizę dokładności rozwiązania aerotriangulacji wykonano na podstawie 274 punktów kontrolnych. Punkty te otrzymano w wyniku zagęszczenia osnowy w aerotriangulacji automatycznej (oprogramowania ImageStation Match-AT) – aerotriangulację oparto na



17 fotopunktach o współrzędnych z pomiaru GPS. W tabeli 3. zamieszczono syntetyczne wyniki po obliczeniach.

Z przeprowadzonych badań wynika, że:

- 1). średni błąd pomiaru punktu na tak opracowywanych zdjęciach waha się  $m_x$ : od 21 do 24  $\mu\text{m}$ ;  $m_y$ : od 29 do 32  $\mu\text{m}$  – wynosi to od 0,8 do 1,3 wielkości piksela (w terenie około 55 do 83 cm);
- 2). wyznaczone średnie błędy pomiaru punktu kontrolnego  $m_{xy}$  (gdy fotopunkty są pozyskane z pomiaru GPS i z mapy 1:10 000) są porównywalne i wynoszą około  $\pm 65$  cm; gdy fotopunkty były pozyskane z mapy 1:25 000  $m_{xy} = \pm 1,04$  m;
- 3). średnie błędy  $m_x$  i  $m_y$  dla fotopunktów pozyskanych z map są porównywalne z obliczoną dokładnością pomiaru tychże fotopunktów na mapach (tabela 2.);
- 4). przy pomiarze naturalnych fotopunktów na zdjęciach z programu PHARE w skali 1:26 000 duże utrudnienie stanowi jednoznaczna i dokładna identyfikacja tych punktów.

Tabela 3.

		Wyniki otrzymane po aerotriangulacji											
		automatycznej Match-AT			półautomatycznej								
Źródło pozyskania fotopunktów		GPS			GPS			1:10 000			1:25 000		
Liczba zdjęć		20											
Ilość fotopunktów		17											
Ilość punktów kontrolnych		0			274			274			274		
Parametr		X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
Średni błąd pomiaru fotopunktu	[m]	0.017	0.016	0.022	0.004	0.004	0.003	4.17	4.44	0.03	6.78	6.58	0.05
Średni błąd pomiaru punktu kontrolnego	[m]	-	-	-	0.78	0.45	1.35	0.59	0.77	1.22	0.93	1.13	1.32
Średni błąd pomiaru punktu na zdjęciu	[ $\mu\text{m}$ ]	24.4	31.9		22.1	30.0		21.51	29.3		21.32	29.2	
$m_0$	[ $\mu\text{m}$ ]	23.8			37.4			36.5			36.4		

### 3. Podsumowanie

Przedstawione prace z zakresu fotogrametrii cyfrowej, wykonane w Katedrze, wykazują, że zdobywane przez nas doświadczenie w tej dziedzinie staje się coraz większe. Prace realizowano z wykorzystaniem różnorodnych technologii i sprzętu. Posiadana nowoczesna fotogrametryczna stacja cyfrowa ImageStation ZIV, umożliwia nam realizację prac badawczych oraz dydaktycznych na najwyższym poziomie.

## Literatura

1. Gołuch P., Klimczak A., 2000, *Porównanie dokładności orientacji zdjęć lotniczych na podstawie fotopunktów pomierzonych metodami: graficzną i GPS*, praca w druku.
2. Kliber S., Michalski A., 1999, *Analiza porównawcza fotogrametrycznego pomiaru rzeźby terenu metodą analityczną (STEKOMETR) i cyfrową (Video Stereo Digitizer)*, praca magisterska, AR Wrocław Katedra Geodezji i Fotogrametrii.
3. Klimczak H., 2000, *Analiza rozkładów przestrzennych obszarów zalesionych w wyniku sukcesji naturalnej; z wykorzystaniem zdjęć lotniczych*, praca w druku.
4. Michalski A., Kliber S., Gołuch P., Świątkiewicz A., 2000, *Analiza porównawcza hipsometrycznego opracowania stereogramu lotniczego*, praca w druku.
5. Paliwoda M., 1999, *Aktualizacja mapy ewidencyjnej miejscowości Bystrzyca Oławska w cyfrowym systemie VSD na podstawie zdjęć PHARE w skali 1:26 000*, praca magisterska, AR Wrocław Katedra Geodezji i Fotogrametrii.
6. Romejko B., 1996, *Zapoznanie się z systemem Digital Video Ploter oraz analiza przydatności DVP do sporządzania i aktualizacji map sytuacyjnych w skali 1:2 000*, praca magisterska, AR Wrocław Katedra Geodezji i Fotogrametrii.
7. Siodłak W., 1998, *Badanie przydatności kolorowych zdjęć lotniczych (program PHARE) do interpretacji tematycznej obszaru zbiornika „JEZIORSKO”*, praca magisterska, AR Wrocław Katedra Geodezji i Fotogrametrii.
8. Świątkiewicz A., Gołuch P., 1999, *Badanie przydatności zdjęć lotniczych z programu PHARE PL 9206 do aktualizacji map w skali 1:10 000 i 1:5 000 z zastosowaniem systemu VSD*, Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, Vol. 9, Olsztyn.
9. Zając P., 1996, *Zapoznanie się z Video Stereo Digitizerem oraz analiza przydatności VSD do sporządzania i aktualizacji map sytuacyjnych w skali 1:2 000*, praca magisterska, AR Wrocław Katedra Geodezji i Fotogrametrii.
10. Z/I Imaging Corporation, 1999, *Z/I Imaging Document Library; User's Guide for the Windows NT Operating System*, Huntsville, Alabama.

Recenzował: dr inż. Andrzej Wróbel