

Ortofotografia – nowa technika fotogrametryczna w zastosowaniu do opracowania mapy zasadniczej

1. Wprowadzenie

Przy opracowaniu mapy zasadniczej na podstawie zdjęć lotniczych stosuje się dwie podstawowe metody:

- stereofotogrametryczną, wykorzystującą efekt stereoskopowego widzenia do opracowania rzeźby terenu i treści sytuacyjnej mapy;
- metodę fotomechanicznego przetwarzania zdjęć pojedynczych do sporządzenia fotoplanów, będących podstawą do wykreślenia w terenie treści sytuacyjno-wysokościowej mapy.

W ostatnich latach te dwie metody wzbogaciły się o jakościowo nową technikę opracowania zdjęć, mianowicie o technikę ortofotograficzną, zwaną w skrócie ortofotografią lub techniką ortofoto. Jej pojawienie się zostało spowodowane wzrastającym zapotrzebowaniem gospodarki narodowej na dokładne podkłady mapowe, wykonywane w szybszym czasie i przy niższym nakładzie środków aniżeli ma to miejsce przy zastosowaniu metod tradycyjnych. Sprzyjający był również, obserwowany od szeregu lat, dynamiczny rozwój elektronicznej techniki obliczeniowej, optoelektroniki oraz automatyki.

Cechą szczególną ortofotografii jest to, że podczas opracowania zdjęć wykorzystuje się zalety obu wyżej wymienionych metod tradycyjnych, którymi są:

- stosowanie efektu stereoskopowego (modelu przestrzennego) do przetworzenia zdjęć;
- odwzorowanie pełnej treści zdjęcia lotniczego w rzucie ortogonalnym.

Jednym z podstawowych etapów technologii opracowania map przy zastosowaniu techniki ortofoto jest przetwarzanie różniczkowe zdjęć za pomocą specjalnie do tego celu skonstruowanych przystawek ortofoto lub bardziej uniwersalnych systemów ortofotograficznych. W wyniku różniczkowego przetworzenia zdjęć otrzymuje się tzw. zdjęcia ortofoto (ortofotonegatywy), z których następnie montuje się mapy fotograficzne (ortofotomapy) o odpowiednim kroju sekcyjnym. Mapy te, uzupełnione siatką kilometrową oraz innymi elementami kreskowymi, np. warstwicami, opisem miejscowości, mogą stanowić końcową formę opracowania jako mapy nowego typu. Mogą też być wykorzystane jako produkt pośredni do opracowania map kreskowych tradycyjnego typu.

Zagadnieniem ortofotografii Instytut Geodezji i Kartografii zajmuje się wspólnie z Państwowym Przedsiębiorstwem Geodezyjno-Kartograficznym od początku lat siedemdziesiątych. W 1974 roku z inicjatywy Biura Rozwoju Nauki i Techniki Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii został opracowany plan zastosowania techniki ortofoto w produkcji fotogrametryczno-kartograficznej.

W wyniku realizacji tego planu opracowano w 1976 roku technologię sporządzania map fotograficznych przy zastosowaniu techniki ortofoto, wdrożoną następnie do produkcji w niektórych przedsiębiorstwach Zjednoczenia „Geokart”. Na podstawie kilkuletnich doświadczeń i wyników postępu w doskonaleniu techniki ortofoto zaistniała obecnie możliwość zastosowania tej techniki do opracowania mapy zasadniczej na równi z innymi metodami fotogrametrycznymi. Z tego powodu w instrukcji technicznej G-4 (GUGiK, 1979 r.), umieszczono paragraf o przetwarzaniu różniczkowym zdjęć przy opracowaniu mapy zasadniczej.

Prace badawcze w zakresie ortofotografii są prowadzone również w innych ośrodkach naukowych kraju, a szczególnie w Akademii Górniczo-Hutniczej, gdzie rozwijana jest stereoortofotografia, której cechą szczególną jest możliwość przestrzennego pomiaru terenu na podstawie kartometrycznych zdjęć ortofoto.

2. Charakterystyka przetwarzania różniczkowego

Na ogół pod pojęciem przetwarzanie zdjęć rozumie się przekształcenie fotograficzne obrazu zdjęcia, będącego rzutem środkowym, na taki rzut środkowy, który praktycznie można przyjąć za rzut ortogonalny. Tego rodzaju przekształcenie wykonuje się za pomocą przetworników fotomechanicznych, np. SEG-1 Zeissa lub E-4 Wilda. Jest ono ściśle pod względem geometrycznym tylko wówczas, gdy teren odwzorowany na zdjęciu fotogrametrycznym jest płaską powierzchnią. Przeważnie tak nie jest i wówczas dla zachowania odpowiedniej dokładności stosuje się tzw. przetwarzanie strefowe. Zasięg stref wyznacza się na podstawie warstwic, które przenosi się na zdjęcie z map istniejących. Gdy liczba stref przetwarzania jest zbyt duża, a teren jest zróżnicowany pod względem ukształtowania pionowego, metoda ta nie zapewnia dokładności, wymaganej przy opracowaniu map wielkoskalowych. Dlatego też do przetworzenia zdjęć terenów o zróżnicowanej rzeźbie, a szczególnie o znacznych deniwelacjach, stosuje się obecnie metodę przetwarzania różniczkowego. Osiągana przy tym dokładność odwzorowania szczegółów na zdjęciu przetworzonym jest równa dokładności graficznego opracowania na autografie.

2.1. Przyrządy i systemy ortofotograficzne

Typowymi przyrządami służącymi do różniczkowego przetwarzania zdjęć są:

- przystawki ortofoto do istniejących autografów analogowych;
- ortofotoprojektory działające w połączeniu z urządzeniami do automatycznego sterowania ich pracą.

Wyróżniającymi się elementami konstrukcyjnymi tych przyrządów są:

- specjalny system optyczny umożliwiający prześwietlanie (przetworzenie) małych wycinków zdjęcia, ograniczonych szczeliną przetwarzania o długości od 2 mm do 16 mm i szerokości od 0,1 mm do 1,0 mm;
- kasetę do filmu o stosunkowo dużych wymiarach służącą do naświetlania przetworzonego zdjęcia o wymiarach do 900 mm × 750 mm.

Do celów poglądowych na rysunku 1 przedstawiono jeden ze standardowych zestawów szczelin przetwarzania, natomiast na rysunku 2 kasetę do filmu do naświetlania przetwarzanych zdjęć.

Aby zdjęcie można było przetworzyć, niezbędne są informacje o rzeźbie terenu sfotografowanego na danym zdjęciu. Informacje te wprowadza się do przyrządu ortofoto w postaci profili pionowych terenu zarejestrowanych w sposób analogowy lub cyfrowy albo też przekazanych do kasety za pomocą promieni świetlnych.

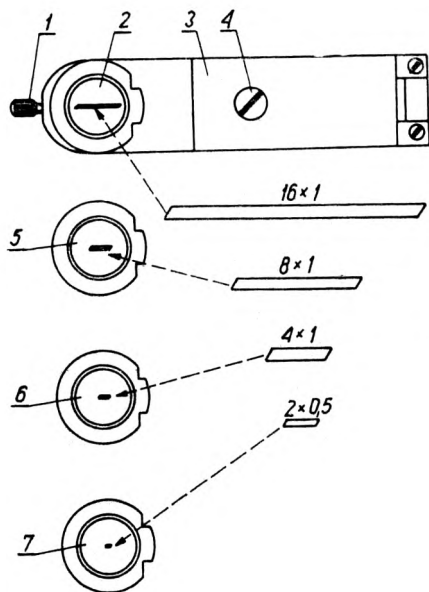
Zależnie od sposobu wykorzystania informacji o rzeźbie terenu, przyrządy ortofoto dzielą się na:

- a) przyrządy pracujące w systemie on line, gdy informacja o terenie są przekazywane optycznie do przystawek ortofoto w momencie ich pozyskiwania podczas wyznaczania pionowych profili terenu w autografie, to jest prowadzenia znaczka pomiarowego po terenie. Do typowych przyrządów tej grupy należą:

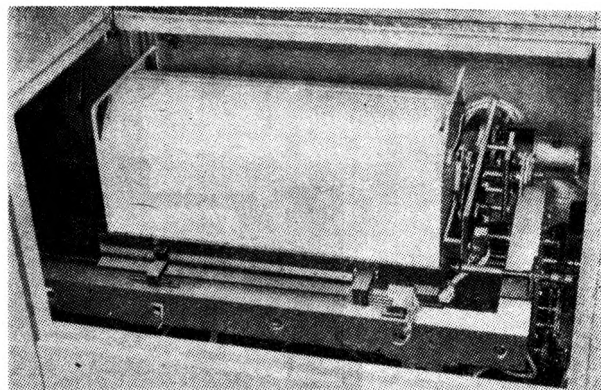
- ORTOFOT B i C zakładów Zeissa z Jeny (rys. 3) działający w bezpośrednim sprzężeniu z autografem TOPO-KART;

- PPO-8 firmy Wild, urządzenie działające w połączeniu z autografem Wilda A8 (rys. 4);

- SFOM 693 produkcji francuskiej Matra, pracujący w sprzężeniu z autografem SFOM;



Rys. 1. Standardowy zestaw szczelin przetwarzania dla Ortofotu B



Rys. 2. Kasety do filmu do naświetlania przetwarzanego zdjęcia w PPO-8

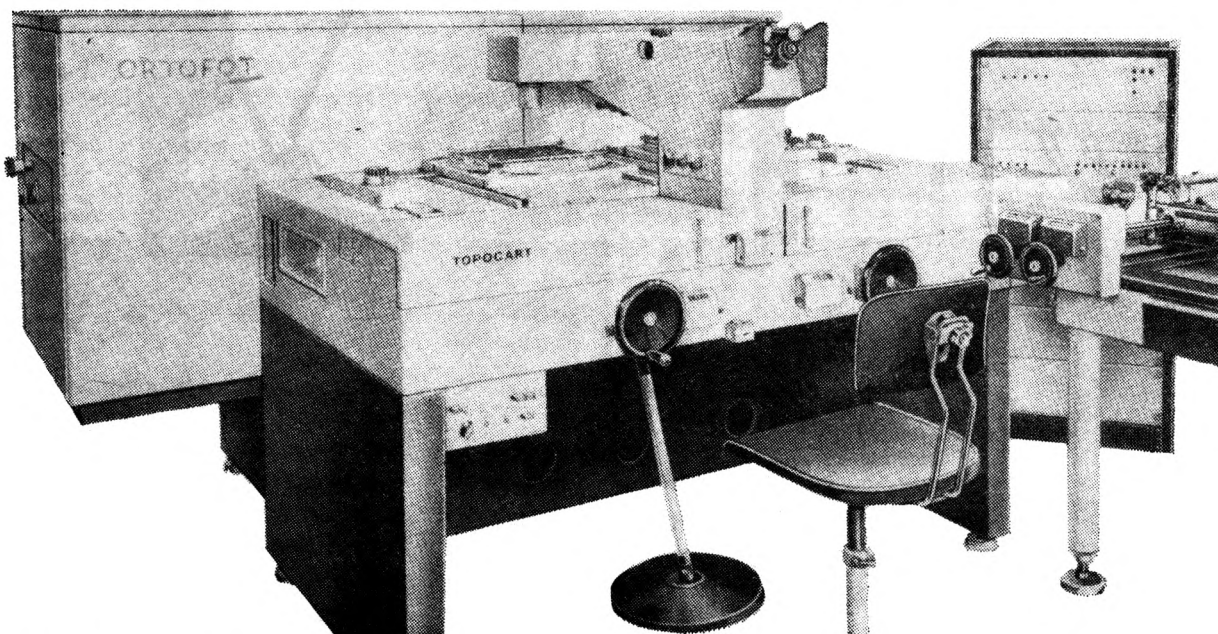
— ORTOFOTO-SIMPLEKS produkcji włoskiej firmy Officine Galileo, współpracujący z autografem stereosimpleks II/C;

b) przyrządy działające w systemie off line — gdy informacje o terenie wprowadzane są za pomocą zarejestrowanych cyfrowo lub analogowo pionowych profili terenu. Do typowych przyrządów tego systemu należą:

2.2. Zdjęcia ortofoto

Zdjęcie ortofoto jest przetworzonym różniczkowo zdjęciem lotniczym, w którym zostały wyeliminowane zniekształcenia perspektywiczne właściwe rzutowi środkowemu, a mianowicie:

- zniekształcenia powstałe na skutek dowolnej orientacji kamery lotniczej w momencie ekspozycji zdjęć;
- zniekształcenia spowodowane deniwelacją terenu.



Rys. 3. Zestaw Topocart-Ortofot Zeissa z Jeny

— AVIOPLAN OR-1 firmy Wild, sterowany podczas pracy za pomocą profili zarejestrowanych na taśmie magnetycznej. Profile te są obliczane na podstawie numerycznego modelu terenu (NMT), który może być uzyskany z zapisu profili pionowych opracowanych na autografie analogowym lub z digitalizacji warstw map istniejących itp.;

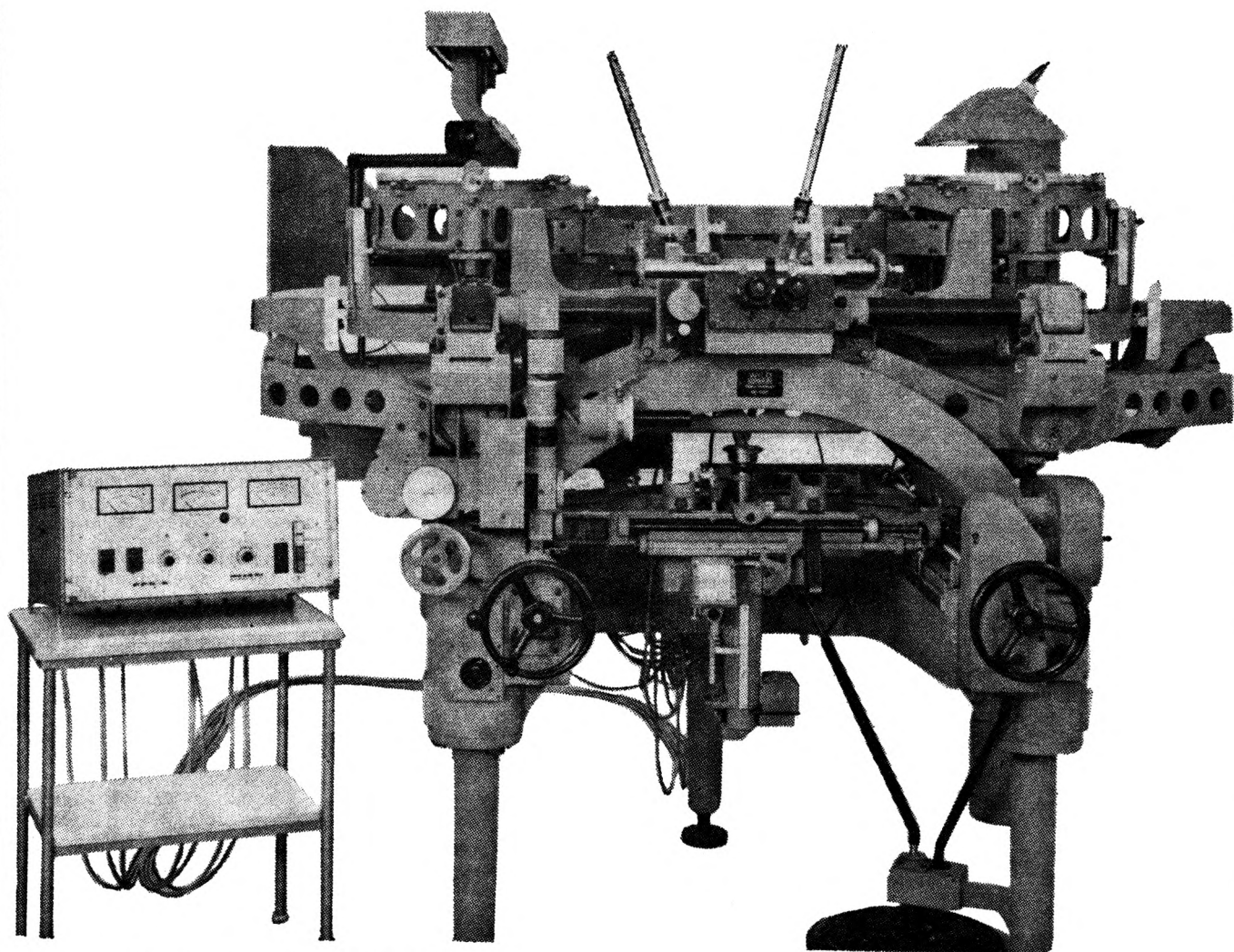
— ORTOFOT D zakładów Zeissa z Jeny, jako udoskonalona wersja Ortofotu B, współpracujący za pośrednictwem urządzenia rejestrująco-badawczego z nową wersją autografu, Topokartem C;

— ORTOPROJEKTOR GZ-1 firmy OPTON, sterowany za pomocą profili zarejestrowanych graficznie w dodatkowym urządzeniu SG i sprzężonym z autografem analogowym, np. Stereoplanigrafem (OPTON) lub Stereometrografem (Carl Zeiss — Jena). Wyżej wymienione systemy, z wyjątkiem przyrządu Ortofoto-Simpleks, zostały poddane estwowaniu w ramach prac naukowo-badawczych prowadzonych przez Instytut Geodezji i Kartografii. Za ich pomocą wykonano przetworzenie zdjęć pola testowego W i zbadano dokład-

Zdjęcie ortofoto posiada zatem cechy rzutu ortogonalnego, co oznacza, że pozostając nadal obrazem fotograficznym, może być wykorzystane do różnorodnych prac kartometrycznych, podobnie jak tradycyjna mapa kreskowa.

Metoda różniczkowa przetwarzania zdjęć, zwana również metodą przetwarzania pasmowego lub szczelinowego, polega na przetworzeniu małych wycinków zdjęcia a nie całej jego powierzchni lub jego odpowiednich stref. Podczas procesu przetwarzania różniczkowego odfotografowują się elementarne obrazy zdjęcia, objęte szczeliną przetwarzania, w coraz to innej skali i orientacji. Spośród zestawu szczelin (rys. 1) wybiera się do pracy odpowiednią szczelinę zgodnie z zaleceniami instrukcji obsługi. Jej wymiary są zależne od deniwelacji i zróżnicowania rzeźby terenu, a przede wszystkim od kąta nachylenia terenu i rozwarcia kamery lotniczej.

W odróżnieniu od tradycyjnego przetwarzania strefowego za pomocą przetworników fotomechanicznych, przetwarzanie różniczkowe odznacza się następującymi cechami:



Rys. 4. Autograf A8 z przystawką PPO-8 Wilda

— dokładność odwzorowania szczegółów sytuacyjnych położonych na powierzchni terenu po przetworzeniu jest porównywalna z dokładnością ich wykreślenia metodą autogrametryczną. Jak wykazały przeprowadzone badania zdjęć ortofoto (pkt 2.1), wykonanych na przystawkach ortofoto, stosowanych w krajowej produkcji fotogrametrycznej, dokładność przetwarzania różniczkowego określa się błędem średnim położenia punktów kontrolnych $m_p \approx \pm 0,2$ mm w skali opracowania;

— jakość fotograficzna zdjęć ortofoto jest lepsza od zdjęć przetworzonych strefowo, na których widoczne są ślady cięcia stref przetwarzania. Ślady te utrudniają interpretację zdjęć podczas dalszego ich wykorzystania.

O jakości fotograficznej przetwarzania różniczkowego można sądzić na podstawie chociażby pobieżnego przeglądu wycinka zdjęcia ortofoto w skali 1:2000, przedstawionego w dwukrotnym zmniejszeniu na rysunku 5. Zdjęcie to zostało wykonane za pomocą przystawki Ortofoto B na podstawie zdjęć lotniczych w skali 1:5000 przy zastosowaniu szczeliny przetwarzania o wymiarach 4 mm $\times$ 0,5 mm (szczelina na specjalne zamówienie)

Podobnie wysoką jakość fotograficzną zdjęć ortofoto uzyskano również przy ich wykonaniu za pomocą przystawki PPO-8 oraz innych systemów ortofotograficznych. Jakość ta zależy przede wszystkim od jakości fotograficznej zdjęć wyjściowych, tj. od diapozytywów wykonanych z oryginalnych zdjęć lotniczych i od obróbki fototechnicznej. Diapozytywy zaleca się wykonywać na kopiarce elektronicznej celem wyrównania kontrastu obrazu.

Do wyrobienia sobie poglądu o istocie przetwarzania różniczkowego służy rysunek 6. Na rysunku tym przedstawiono kierunek przemieszczania się zdjęć tworzących model stereoskopowy w autografie w stosunku do nieruchomej szczeliny

przetwarzania. Promienie świetlne biegnące od jednego ze zdjęć stereogramu przechodzą przez szczelinę przetwarzania s i naświetlają film założony do kasety przystawki ortofoto. Naświetlanie to odbywa się podczas automatycznego ruchu zdjęć w autografie w kierunku osi y . W tym czasie zadaniem obserwatora jest utrzymywanie znacznika pomiarowego autografu na powierzchni modelu terenu. Jest to tak zwany proces „profilowania”, podczas którego następuje ciągła zmiana skali przeffotografowanych wycinków obrazu zdjęcia, ograniczonych wymiarami szczeliny. Po wykonaniu przetworzenia wzdłuż jednego profilu następuje przesunięcie zdjęć o wartość długości szczeliny Δx , następnie przetworzenie wzdłuż kolejnych profili. Odpowiedni kształt szczeliny o ściętych bokach i synchronizacja względnego ruchu szczeliny z intensywnością jej oświetlenia powodują, że na obrazie ortofoto nie widać śladów szczeliny. W wypadku przetwarzania zdjęć za pomocą ortoprojektorów lub przystawek ortofoto działających w systemie off line równolegle ze zmianą skali w zasięgu poszczególnych szczelin przetwarzania odbywa się również ciągła zmiana ich orientacji (przez odpowiedni układ optyczny) w celu uwzględnienia skutków nachylenia zdjęć i nachylenia terenu. Przetwarzanie w tym systemie umożliwia stosowanie szczelin o dłuższych wymiarach, co skraca znacznie czas przetwarzania. Przetwarzanie trwające na przykład 2 godziny (przy szczelinie o długości 4 mm) można skrócić do 30 minut (przy szczelinie o długości 16 mm) bez uszczerbku dla jakości i dokładności ortofotonegatywu, będącego wynikiem przetworzenia diapozytywów zdjęć.

2.3. Charakterystyka ortofotomap

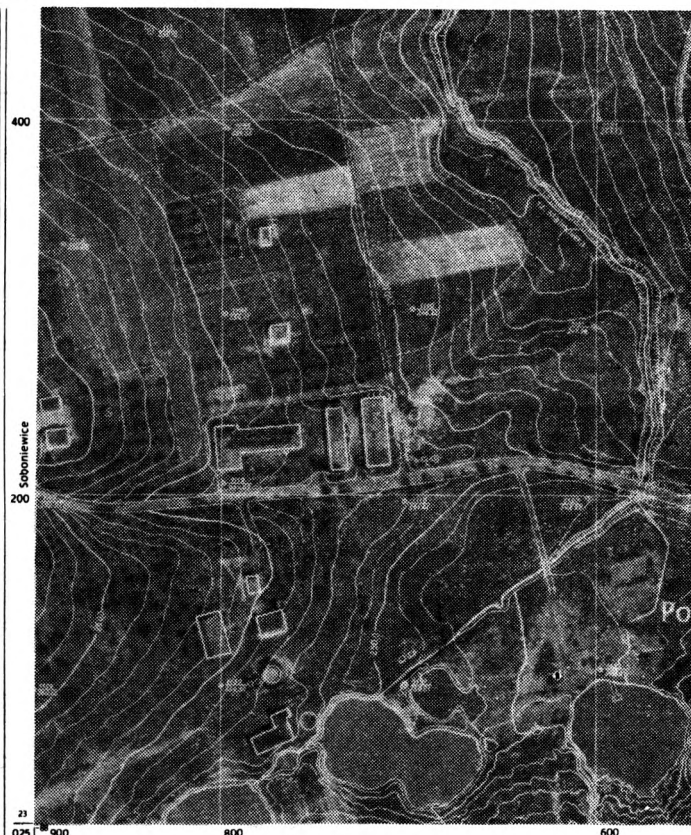
Ortofotomapa jest mapą fotograficzną terenu, opracowaną na podstawie zdjęć przetworzonych różniczkowo.



Rys. 5. Wycinek zdjęcia ortofoto w skali 1:2000 zmniejszony dwukrotnie

a. Treścią ortofotomapy są zazwyczaj następujące elementy:
— fotograficzny obraz powierzchni terenu zawierający

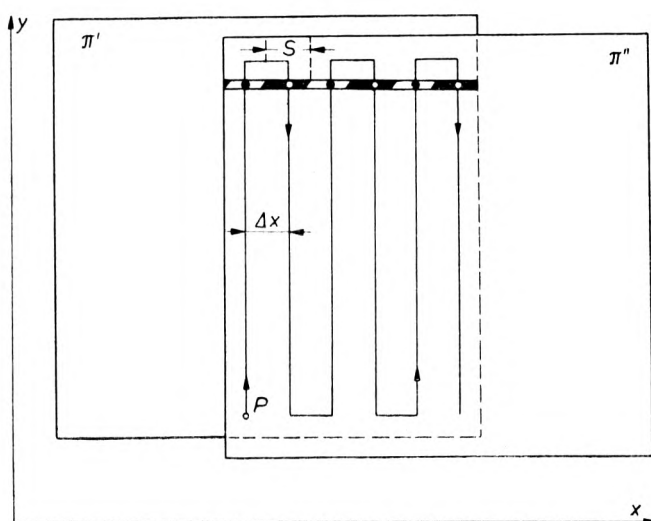
Rys. 7. Fragment ortofotomapy tematycznej w skali 1:2000 zmniejszony dwukrotnie (kreskowe elementy białe)



ORTOFOTOMAPA

1:2000

100 0



Rys. 6. Kierunek przetwarzania różniczkowego

wszystkie szczegóły sytuacyjne odfotografowane na zdjęciach lotniczych;

— rzeźba terenu przedstawiona w postaci warstw oraz charakterystycznych punktów wysokościowych;

— wykreślone szczegóły sytuacyjne mające pewną wysokość względem powierzchni terenu na przykład budynki lub inne elementy sytuacyjne, mające istotne znaczenie dla treści mapy;

— siatkę kilometrową naniesioną według współrzędnych w przyjętym układzie odniesienia, na przykład w układzie lokalnym;

— niezbędne opisy nazw miejscowości, cieków wodnych, dróg itp.;

— opisy pozaramkowe wykonane zgodnie z wymogami odpowiednich instrukcji.

Rys. 8. Fragment mapy tematycznej w skali 1:2000 zmniejszony dwukrotnie (kreskowe elementy czarne)



ORTOFOTOMAPA

1:2000

100 0

Przykładem ortofotomapy tematycznej jest ortofotomapa górniczych elementów powierzchni terenu, której fragment jest zamieszczony na rysunkach 7 i 8. Przedstawia ona ten sam wycinek terenu, którego fotograficzny obraz jest pokazany na rysunku 5. Jak widać z porównania rysunków 7 i 8, ortofotomapy różnią się między sobą kolorem wykreślonej na tle obrazu fotograficznego rzeźby terenu oraz wybranych szczegółów sytuacyjnych. Wybór odpowiedniego koloru dla elementów kreskowych zależy w głównej mierze od stopnia zaczerwienienia obrazu fotograficznego.

Na rysunku 7 obraz fotograficzny jest mało kontrastowy i dlatego elementy kreskowe dla lepszej widoczności przedstawiono w kolorze białym. Na rysunku 8 jest odwrotnie. W pewnych wypadkach o białym kolorze elementów kreskowych decyduje rodzaj pokrycia i charakter opracowywanego terenu a nie sposób obróbki fotograficznej zdjęć. Na przykład obszary leśne, pola uprawne o dużej wilgotności gleby, łąki itp. odfotografowują się jako partie zdjęć o dużym zaczerwienieniu i na ich tle nie byłaby widoczna kreska czarna.

b. Dokładność ortofotomapy, scharakteryzowana błędem średnim położenia sygnalizowanych szczegółów sytuacyjnych, odpowiada dokładności map kreskowych opracowanych na autografie.

Wniosek powyższy został sformułowany po przeprowadzeniu badania negatywów (matryc) tego samego arkusza ortofotomapy w skali 1:2000, opracowanych za pomocą typowych przyrządów ortofoto. Wykonano je na podstawie zdjęć lotniczych w przybliżonej skali 1:5000. Wyniki przeprowadzonej analizy dokładności ortofotomap przedstawiono w tablicy 1.

Przytoczone w tablicy 1 wartości błędów średnich współrzędnych zostały obliczone na podstawie pomiaru punktów kontrolnych, odfotografowanych na negatywach ortofotomap za pomocą koordynatografu precyzyjnego. Wyniki tego pomiaru po transformacji Helmerta na układ współrzędnych geodezyjnych porównano z odpowiednimi współrzędnymi uzyskanymi z aerotriangulacji analitycznej Aeroblok. Uczyniono przy tym założenie, że współrzędne uzyskane z aerotriangulacji opartej na precyzyjnym pomiarze punktów kontrolnych na stekometrze można uważać za bezbłędne w stosunku do pomiaru graficznego ortofotomapy. Biorąc także pod uwagę, że badane ortofotonegatywy były wykonywane w różnych warunkach i przez różnych obserwatorów, podaną w tablicy 1 ocenę dokładności poszczególnych opracowań należy traktować jako orientacyjną. Obliczone błędy średnie świadczą jedynie o tym, że przy zastosowaniu obecnie produkowanych przyrządów ortofoto można uzyskać dokładne ortofotomapy charakteryzujące się błędem średnim położenia szczegółów sytuacyjnych terenu tego samego rzędu co przy opracowaniu graficznym na autografie.

W tablicy 1 podano dla przykładu również ocenę dokładności fotomapy wykonanej metodą przetworzenia strefowego na przetworniku E-4 Wilda. Wykonano ją na podstawie tych samych zdjęć, które posłużyły do opracowania badanych ortofotomap. Z porównania błędów średnich widać, że dokładność fotomapy jest około dwa razy mniejsza.

Tablica 1

Lp.	Nazwa przyrządu ortofoto	Wymiary szczeliny w [mm]	Błędy średnie współrzędnych punktów kontrolnych			Liczba punktów
			m_x w [mm] w [m]	m_y w [mm] w [m]	m_p w [mm] w [m]	
1	Ortofot B	4,0×0,5	±0,10 0,19	±0,09 0,18	±0,13 0,26	75
2	Ortofot C z korektorem nachylenia	16×1	0,15 0,30	0,15 0,30	0,21 0,43	76
3	PPO-8	5,0×0,2	0,12 0,24	0,12 0,24	0,17 0,34	76
4	Avioplan OR-1	12,0×0,1	0,08 0,16	0,08 0,16	0,11 0,22	72
5	Przetwornik E4	przetwarzanie strefowe	0,33 0,66	0,30 0,60	0,45 0,90	72

Tablica 2

Lp.	Rodzaj pracy	Ortofot B	PPO-8	Przetwornik E4
		Nakład pracy w normogodzinach		
		w [h]		
1	Prace przygotowawcze	5,0	5,0	23,2
2	Przygotowanie zdjęć oraz prace montażowe	55,2	52,5	44,5
3	Opracowanie i wykreślenie rzeźby terenu na autografie A8	26,5	22,0	29,5
4	Prace porządkowe	3,0	3,0	2,0
5	Koszt materiałów	—	—	—
	suma	89,7	82,5	99,2
	procent	90,0	83,0	100,0

c. W celu określenia efektów ekonomicznych przeprowadzono analizę pracochłonności wykonania tego samego arkusza ortofotomapy w skali 1:2000 za pomocą przystawek Ortofot B i PPO-8 oraz fotomapy wykonanej za pomocą przetwornika Wilda E-4. Wyniki tej analizy zestawiono w tablicy 2.

Z danych tablicy 2 wynika, że przy opracowaniu ortofotomap za pomocą techniki przetwarzania różniczkowego w porównaniu z opracowaniem fotomapy metodą przetwarzania strefowego uzyskuje się skrócenie czasu opracowania o około 10%. Odpowiada to zmniejszeniu o około 20% kosztów opracowania w cenach sprzedażnych z 1976 roku. Efekty te uzyskano na początku prac wdrożeniowych, przed nabyciem doświadczenia w stosowaniu techniki ortofoto. Stosowanie tej techniki przynosi istotne, lecz niewymierne efekty techniczne. Są to przede wszystkim podniesienie dokładności oraz jakości fotograficznej ortofotomapy.

d. Ważną cechą charakterystyczną jest wartość informacyjna ortofotomapy. Jako fotograficzny, obiektywny obraz terenu, zawiera ona większy zasób informacji o powierzchni terenu od konwencjonalnych map kreskowych. Dlatego też ortofotomapy mogą służyć nie tylko do prac pomiarowych, lecz również do interpretacji zjawisk zachodzących na powierzchni terenu. Nie oznacza to jednak, że mapy fotograficzne, ze względu na swe zalety, mogą w zupełności zastąpić opracowania tradycyjne, tj. mapy kreskowe. Wydaje się, że w przyszłości, zależnie od różnorodności zapotrzebowań na opracowania kartograficzne, będą miały zastosowanie wszystkie dostępne metody opracowania map.

Biorąc pod uwagę omówioną wyżej charakterystykę map fotograficznych, stan rozwoju techniki ortofoto w kraju i na świecie oraz zapotrzebowanie gospodarki narodowej na szybkie i tanie opracowania mapowe, można przyjąć, że będzie ona znajdować coraz szersze zastosowanie. Do najważniejszych dziedzin zastosowania ortofotografii należy:

- opracowanie map fotograficznych (map nowego typu), jako podkładów dla różnorodnych prac projektowych, na przykład w planowaniu przestrzennym, w budowie tras i szlaków komunikacyjnych, w pracach wodno-melioracyjnych, w ochronie środowiska naturalnego itp.;
- opracowanie ortofotomap tematycznych, na przykład ortofotomap górniczych elementów powierzchni terenu w skali 1:2000;
- opracowanie i aktualizacja mapy zasadniczej kraju.

Należy wspomnieć o tym, że technika ortofotograficzna może być ponadto wykorzystana do opracowania:

- zdjęć satelitarnych, wykonywanych zarówno kamerami fotograficznymi, jak i skanerami o elektromagnetycznym sposobie rejestracji obrazu terenu;
- zdjęć naziemnych obiektów architektonicznych, zwłaszcza gdy chodzi o rozwinięcie powierzchni krzywoliniowych na płaszczyznę w celu określenia rzeczywistych wymiarów tych powierzchni;
- numerycznych modeli terenu (NMT) przy okazji różniczkowego przetworzenia zdjęć w systemie on line w celu ich dalszego wykorzystania do różnorodnych prac, np. do automatycznego wykreślenia warstw lub przetworzenia w systemie off line.

3. Opracowanie mapy zasadniczej przy zastosowaniu techniki ortofoto

3.1. Uwagi ogólne

W dotychczasowej praktyce opracowania map topograficznych, w tym i map wielkoskalowych, bardzo poważny udział ma metoda fotogrametrii jednoobrazowej. Fotomapy jako podkłady do opracowania map metodą kombinowaną były montowane, a dla terenów względnie płaskich są montowane nadal z pojedynczych zdjęć przetworzonych strefowo na przetwornikach fotomechanicznych. Świadczy to o przydatności metody. Jednak dokładność fotomap wykonanych ze zdjęć wymagających dużej liczby stref przetwarzania nie zawsze odpowiada wymogom dokładności współczesnej mapy zasadniczej. Dokładność ta jest określona między innymi przez wydaną przez GUGiK w 1978 roku instrukcję techniczną K-1 (mapa zasadnicza) oraz instrukcję techniczną G-4 (pomiar sytuacyjny i wysokościowy) z 1979 roku. Wychodząc naprzeciw wymogom kompleksowego rozwiązania problemu opracowania map wielkoskalowych, przeznaczonych do szerokiego wykorzystania w gospodarce narodowej, instrukcja G-4 przewiduje stosowanie przetwarzania różniczkowego do opracowania mapy zasadniczej z dokładnością tego samego rzędu, jak przy mapach opracowanych metodami stereofotogrametrycznymi (§ 71). Zgodnie z tym wymogiem dokładność graficzna pierwowysu mapy zasadniczej powinna charakteryzować się błędem średnim położenia szczegółów sytuacyjnych I grupy dokładnościowej, w stosunku do najbliższych punktów osnowy geodezyjnej i punktów osnowy fotogrametrycznej, nie większym niż $\pm 0,3$ mm w skali mapy. Wymóg ten oznacza, że dokładność ortofotonegatywów powstających w wyniku przetworzenia różniczkowego powinna być o rząd wyższa. Uzasadnieniem tego stwierdzenia jest sumowanie się nieuniknionych błędów przypadkowych, towarzyszących dalszemu opracowaniu ortofotonegatywów. W wyniku tego opracowania powstaje arkusz ortofotomapy w odpowiednim kroju sekcyjnym, tzw. kopia ortofoto, która jest podstawą do opracowania pierwowysu mapy w terenie.

3.2. Projekt schematu blokowego technologii

Technologia opracowania mapy zasadniczej przy zastosowaniu techniki ortofoto różni się od technologii wykonania map na podstawie fotomap strefowych następującymi pracami:

- zastosowaniem przetwarzania różniczkowego zdjęć do wykonania ortofotomapy — kopii ortofoto jako podkładu do uzupełniających pomiarów terenowych i opracowania pierwowysu połowego mapy;
- opracowaniem rzeźby terenu na autografie, wykorzystywanym łącznie z przystawką ortofoto do przetworzenia zdjęć, lub w perspektywie automatycznym wykreśleniem warstwicy na podstawie numerycznych modeli terenu;
- pracami przygotowawczymi związanymi z opracowaniem mapy, zwłaszcza w zakresie obliczenia współrzędnych punktów osnowy fotogrametrycznej oraz punktów załamania granic obszarów i kompleksów użytków rolnych.

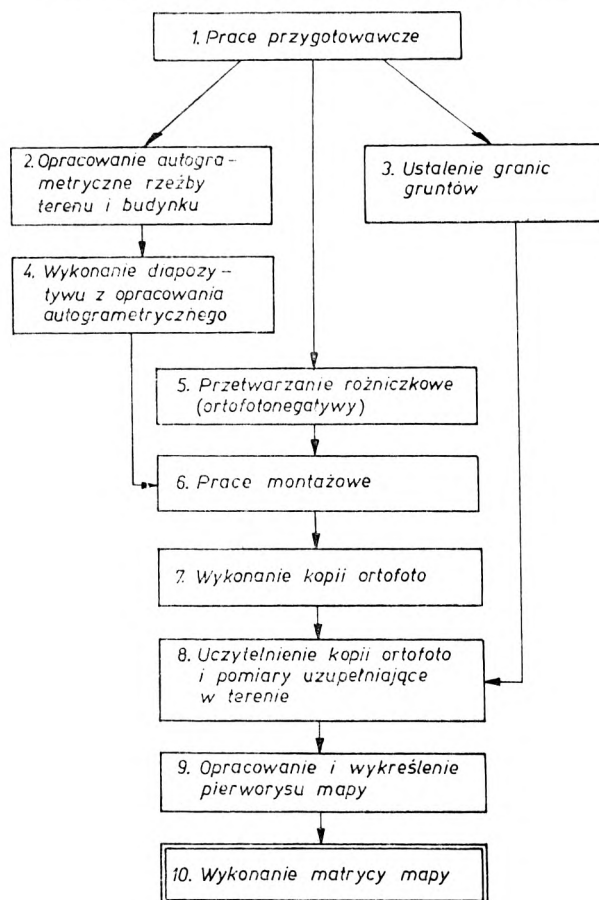
Do zorientowania się w procesie opracowania mapy zasadniczej wymienioną wyżej technologią może służyć *Projekt schematu blokowego technologii...* przedstawiony w tablicy 3.

W celu wypróbowania tej technologii w praktyce podjęto w 1979 roku szerokie prace doświadczalne, realizowane z inicjatywy GUGiK w kilku jednostkach produkcyjnych. Celem tych prac jest sprawdzenie założeń teoretycznych i skonfrontowanie wyników prac badawczych nad technologią z rezultatami jej zastosowania w warunkach produkcyjnych. Motywem takiego postępowania są z jednej strony stwierdzone efekty techniczno-ekonomiczne osiągnięte przy opracowaniu map fotograficznych za pomocą techniki ortofoto, a z drugiej — wysokie wymagania stawiane przy opracowaniu mapy zasadniczej. Spośród 10 etapów prac, przewidzianych w projekcie schematu blokowego technologii (tablica 3), niektóre wymagają jeszcze sprawdzenia pod względem wyboru optymalnego rozwiązania. Odnosi się to do etapów 3, 8 i częściowo 9. Dlatego też w niniejszym artykule ograniczono się do przedstawienia wyników prac fotogrametrycznych z zakresu techniki ortofoto, stanowiących podstawowy element technologii.

3.3. Zakres prac doświadczalnych oraz wnioski

Prace doświadczalne zmierzające do ustalenia podstaw techniczno-ekonomicznych do opracowania *Wytycznych*

Tablica 3. Projekt schematu blokowego technologii opracowania mapy zasadniczej z zastosowaniem techniki ortofoto



technicznych wykonania mapy zasadniczej przy zastosowaniu techniki ortofoto obejmują:

- opracowanie arkusza mapy w skali 1:2000 terenów podgórskich;
- wykonanie aktualizacji mapy w skali 1:2000 terenów falistych typu rolniczego;
- opracowanie arkusza mapy w skali 1:5000 terenów rolniczych ze szczególnym uwzględnieniem ewidencji gruntów;
- opracowanie arkusza mapy w skalach 1:5000 i 1:2000 dla terenów rolniczych uzbrojonych w terenową sygnalizację punktów załamania granic obszarów i kompleksów.

Wymienione prace doświadczalne wykonywane są pod kątem widzenia wykorzystania ich przy realizacji planowych zadań produkcyjnych.

Na podstawie dotychczasowych doświadczeń przeprowadzonych w jednostkach produkcyjnych można sformułować następujące wnioski:

1) ortofotomapa, jako podkład do opracowania mapy zasadniczej, umożliwia weryfikację kameralną posiadanych materiałów kartograficznych i zarysów pomiarowych. W wypadku ich niezgodności z terenem, niezbędne pomiary kontrolne można wykonać na ortofotomapie, eliminując w ten sposób pomiary kontrolne bezpośrednie w terenie lub pomiary autogrametryczne. Szczególnie pomocna jest ortofotomapa przy weryfikacji map ewidencji gruntów;

2) zastosowanie techniki ortofotograficznej zamiast metody autogrametrycznej umożliwia uzyskanie liczących się efektów organizacyjnych i ekonomicznych w zakresie prac polowych. Dwukrotnie wyjścia w pole, pierwszy raz w celu uczytelnienia zdjęć lotniczych przed ich opracowaniem na autografie oraz drugi raz dla wykonania pomiarów uzupełniających, zastępuje się pracami polowymi wykonywanymi na podstawie ortofotomapy, obejmującymi uczytelnienie, pomiary uzupełniające i wykreślenie pierwowysu mapy, a bieżącą kontrolę wykonuje się podczas jednego etapu prac terenowych;

3) pomiary uzupełniające mogą być wykonywane w dowiązaniu do zidentyfikowanych na ortofotomapie szczegółów sytuacyjnych należących do I grupy dokładnościowej. Szczegóły sytuacyjne odfotografowane na zdjęciach lotni-

czych i dające się jednoznacznie zidentyfikować w terenie, mają na ortofotomapie wartość kartometryczną. Wykorzystanie ich jako punktów dowiązania może znacznie zmniejszyć zakres pomiarów geodezyjnych wykonywanych dla pomiaru zakrytych — nie odfotografowanych na zdjęciach elementów treści mapy. Ponadto konfrontacja obrazu ortofotomapy z terenem umożliwia właściwą organizację prac pomiarowych i kontrolnych, przez co eliminuje się wiele błędów i przeoczeń przy opracowaniu pierworysu;

4) pomiary kontrolne w terenie wykazały, że dokładność wykreślenia pierworysu na podkładzie ortofotomapy odpowiada dokładnościom podanym w instrukcjach K-1 i G-4. Ocenę dokładności położenia szczegółów sytuacyjnych (granic gruntów, budynków, studni, słupów wysokiego napięcia, ogrodzeń itp.) przeprowadzono na podstawie porównania współrzędnych odczytanych z pierworysu mapy i współ-

rzędnych obliczonych na podstawie wykonanych pomiarów liniowo-kątowych. Stanowiskami instrumentu były zastabilizowane w terenie punkty ciągów poligonowych. Obliczone na podstawie otrzymanych różnic współrzędnych błędy średnie położenia sprawdzanych szczegółów zawierały się w granicach od $\pm 0,2$ mm do $\pm 0,3$ mm w skali mapy.

Prace doświadczalne, których wyniki stały się podstawą do opracowania powyższych wniosków nie zostały całkowicie zakończone. Sprawdzenia i analizy wymagają jeszcze prace związane z optymalizacją niektórych etapów omówionej technologii. Dotyczy to w szczególności optymalizacji wykonywania kopii ortofotomap, wykreślenia pierworysu polowego oraz wyznaczania granic i powierzchni użytków rolnych. Wyniki tych prac będą podstawą do opracowania wytycznych technicznych mających na celu wprowadzenie techniki ortofoto do produkcji mapy zasadniczej.