

Analiza fotogrametrycznych metod opracowania mapy sytuacyjnej ulic w skali 1 : 250

1. Wstęp

Rozwój metod fotogrametrii lotniczej umożliwia sporządzanie map w coraz to większych skalach. Największą skalę mapy miasta opracowywaną masowo w produkcji fotogrametrycznej była skala 1 : 1000.

W 1972 roku z inicjatywy Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii rozpoczęto w Instytucie Geodezji i Kartografii prace doświadczalne zmierzające do opracowania technologii sporządzania map tras ulic w skali 1 : 250 metodą fotogrametryczną.

Wraz ze wzrostem skali opracowania zwiększają się przeważnie wymagania dokładnościowe. Przeprowadzone prace doświadczalne umożliwiły dokonanie analizy metod i sposobów fotogrametrycznego sporządzenia mapy pod kątem uzyskania wymaganych wysokich dokładności opracowania z uwzględnieniem strony ekonomicznej. Analiza ta jest przedmiotem niniejszej pracy.

Prace doświadczalne wykonywane były w latach 1972—1975 w warunkach produkcyjnych przy współpracy Warszawskiego Okręgowego Przedsiębiorstwa Mierniczego oraz Państwowego Przedsiębiorstwa Geodezyjnego.

2. Wymagania w zakresie dokładności mapy

Szeroki krąg użytkowników zamawiających mapy w skali 1 : 250 dla różnorodnych zagadnień powoduje, że różne też są ich wymagania dotyczące działalności i treści dla tej mapy.

„Zasady techniczne sporządzenia i aktualizacji mapy zasadniczej” z dnia 9. III. 1976 r. ustalają iż największą skalę dla mapy zasadniczej jest skala 1 : 500, a pozostałe mapy mają powstawać jako jej pochodne.

Wymagana dokładność graficzna dla mapy zasadniczej scharakteryzowana jest średnim błędem położenia szczegółu sytuacyjnego I grupy dokładnościowej w stosunku do najbliższego punktu osnowy geodezyjnej. Błąd ten nie może przekraczać $\pm 0,3$ mm w skali mapy.

Zakładając, że mapa w skali 1 : 250 ma powstawać jako dwukrotne powiększenie mapy w skali 1 : 500, wymagana dokładność graficzna dla niej wynosić będzie $\pm 0,6$ mm.

Jeżeli jednak mapa w skali 1 : 250 miała być kartowana bezpośrednio z pomiarów terenowych, to dokładność tej mapy byłaby wyższa i wynosiłaby $\pm 0,46$ mm. Wartość tę wyznaczono na podstawie wzoru

$$m_g = \pm \sqrt{m_p^2 + m_n^2 + m_k^2},$$

gdzie:

m_g — średni błąd położenia na mapie szczegółu sytuacyjnego I grupy w stosunku do najbliższego punktu osnowy geodezyjnej,

m_p — średni błąd pomiaru scharakteryzowany średnim błędem położenia szczegółu sytuacyjnego I grupy w stosunku do najbliższego punktu osnowy szczegółowej. Wynosi on na terenach kategorii A $\pm 0,10$ m, co w skali mapy 1 : 250 wynosi $\pm 0,4$ mm,

m_n — średni błąd kartowania szczegółów sytuacyjnych, który wynosi około $\pm 0,2$ mm w skali mapy,

m_k — średni błąd z tytułu wykreślenia mapy, który wynosi około $\pm 0,1$ mm w skali mapy.

Błąd m_g przyjmiemy jako kryterium dopuszczalnego błędu średniego dla numerycznych opracowań fotogrametrycznych szczegółów sytuacyjnych. Istniejące instrukcje nie precyzują tego kryterium.

Wymagania w zakresie dokładności określenia położenia punktów osnowy szczegółowej, służącej do sporządzania mapy w skali 1 : 500, scharakteryzowane są przez średni błąd wyznaczenia poszczególnego punktu w stosunku do punktów nawiazania, który powinien być mniejszy lub równy $\pm 0,2$ mm w skali mapy 1 : 500, co stanowi $\pm 0,10$ m w terenie.

W przypadku zastąpienia lub uzupełnienia szczegółowej osnowy geodezyjnej osnową wyznaczoną fotogrametrycznie koniecznym jest uzyskanie wyżej wymienionej dokładności.

Omówione powyżej wymagane dokładności zaspakajają większość użytkowników mapy.

W 1974 roku został opracowany w Zakładzie Kartografii Instytutu Geodezji i Kartografii temat p.t. „Analiza potrzeb w zakresie treści i dokładności mapy zasadniczej z punktu widzenia potrzeb gospodarczych i ustalenie optymalnej treści mapy zasadniczej w skalach 1 : 500, 1 : 1000, 1 : 2000 i 1 : 5000”. Dla rozwiązania tematu zbierano opinie szerokiego grona użytkowników tych map. Ze względów zrozumiałych opinie dotyczące skali, dokładności i treści mapy różniły się pomiędzy sobą.

W zakresie dokładności mapy aż 21% użytkowników nie wystarcza dokładność graficzna $\pm 0,3$ mm w skali 1 : 500, czyli $\pm 0,15$ m w terenie.

Chcą oni, aby błąd położenia punktu na mapie nie przekraczał $\pm 0,2$ mm w skali 1 : 500 i $\pm 0,4$ mm w skali 1 : 250, co odpowiada dokładności pomiaru $\pm 0,10$ m.

Do użytkowników postulujących tę wymaganą dokładność należą przede wszystkim biura projektowe i jednostki eksploatacyjne. Tak wysokie dokładności mapy pozwalają na dokonywanie szeregu prac wprost na mapie bez konieczności wykonywania pracochłonnych obliczeń. Również bezpośrednio wynoszenie w terenie projektów przewodów może się wtedy odbyć wg wartości liniowych odczytanych z mapy.

Analiza opracowań fotogrametrycznych będzie uwzględniała różne wymagania użytkowników i wykonawstwa geodezyjnego.

3. Prace doświadczalne, charakterystyka materiałów wyjściowych

Celem prac doświadczalnych i analiz było ustalenie możliwie optymalnych technologii sporządzenia mapy sytuacyjnej ulicy w skali 1 : 250 metodami fotogrametrycznymi.

Technologie te powinny zapewniać uzyskanie wymaganych dokładności przy założeniu, że osnowa polowa dla fotogrametrii nie będzie posiadać wyższej dokładności aniżeli osnowa, która jest podstawą do wykonania pomiarów metodą geodezyjną, czyli I klasa poligonizacji technicznej. Zakładanie specjalnych wysokodokładnych polowych osnów fotogrametrycznych zwiększyłoby koszty sporządzenia mapy.

W wyniku prac badawczych ustalone zostały i przeanalizowane pod względem technicznym i ekonomicznym cztery fotogrametryczne ciągi technologiczne sporządzenia mapy w skali 1 : 250. Mogą być one stosowane w zależności od wyposażenia w odpowiedni sprzęt i możliwości organizacyjnych przedsiębiorstw wykonawczych.

Prace doświadczalne wykonane były na 1-kilometrowym zabudowanym odcinku ulicy Anielewicza w Warszawie dla którego wykonano zdjęcia lotnicze o pokryciu podłużnym 60% w następujących skalach:

1 : 4110,	$c_k = 210$ mm,	format zdjęcia	18×18 cm
1 : 3120,	— „ —	— „ —	— „ —
1 : 2130,	— „ —	— „ —	— „ —
1 : 1350,	— „ —	— „ —	— „ —
1 : 3190,	$c_k = 152$ mm,	format zdjęcia	23×23 cm
1 : 2680,	— „ —	— „ —	— „ —

Przed wykonaniem zdjęć lotniczych zasygnalizowano punkty poligonizacji technicznej I klasy oraz znaki naziemne urządzeń podziemnych.

Dla sprawdzenia dokładności, istniejącej na terenie obiektu doświadczalnego, osnowy geodezyjnej (poligonizacji technicznej I klasy) wykonano powtórnie jej pomiar z wysoką dokładnością oraz obliczenie współrzędnych. Średnia odchyłka we współrzędnych z obydwu wyznaczeń wynosiła $\pm 1,8$ cm. Na tej podstawie uznano, że geodezyjna osnowa nie zawiera błędów, które mogłyby rzutować na wyniki opracowania fotogrametrycznego, a tym samym na błędne wnioski z analiz.

Podstawą do przeprowadzenia analizy i oceny technicznej prac eksperymentalnych były, określone z wysoką dokładnością $\pm 1,5$ cm, współrzędne 35 sygnalizowanych punktów kontrolnych oraz około 150 odcinków zawartych pomiędzy następującymi szczegółami sytuacyjnymi I grupy dokładnościowej:

— sygnalizowanymi znakami naziemnymi urządzeń podziemnych (50 odcinków),

— nie sygnalizowanymi załamaniem krawężników, chodników, trawników itp. (35 odcinków),

— latarniami (32 odcinków),

— narożnikami budynków (35 odcinków).

Odcinki zawarte pomiędzy punktami sygnalizowanymi podzielono na odcinki krótkie o długości do 70 m oraz długie o długości do 70 m do 600 m (średnio 200 m). Pozostałe grupy odcinków mają długość do 100 m, średnio około 40 m: W zależności od skali zdjęć odcinki długie przebiegały przez 2 do 5 stereogramów.

4. Badania fotogrametrycznych materiałów filmowych

Badaniem objęte były film lotniczy oraz 4 filmy stosowane do sporządzania diapozytywów lub wtórnych negatywów:

I — Kodalith Ortho Film Typ 3,

II — Gevalith Ortho Film 0,81 p,

III — Gevatone Film N 43 p,

IV — Gevatone Film N 41 p,

V — Agfa Gevaert Aviphot Pan 33, film lotniczy.

Film lotniczy nie był w trakcie badań pocięty, natomiast filmy pozostałe, stosowane do sporządzenia diapozytywów lub wtórnych negatywów, przecinane były przed kopiowaniem do formatów 19×19 cm i 24×24 cm.

Podstawą badań był pomiar na stereokomparatorze precyzyjnym deformacji obrazu fotograficznego przecięć siatki kwadratów w 25 równomiernie rozmieszczonych punktach.

Kopiowanie siatek wykonane było w warunkach produkcyjnych przy wykorzystaniu kopiarki Zeissa KG-30. Suszenie filmów odbywało się

w temperaturze pokojowej, a przechowywanie w warunkach takich, jak w produkcji. Ze względu na to, że film, zwłaszcza w pierwszym okresie po wywołaniu, może mieć odmienny rozkład deformacji aniżeli w następnych okresach, obserwacje niektórych siatek wykonano czterokrotnie w następujących odstępach czasu, licząc od dnia wywołania filmu: 7, 14, 26, 51 dni.

Średni błąd pomiaru na stereokomparatorze precyzyjnym wyniósł $\pm 2,5 \mu\text{m}$.

Korekcję deformacji przeprowadzono przy stosowaniu następujących operacji rachunkowych: transformacji Helmerla (*A*), transformacji afinicznej (*B*), dwóch niepełnych wielomianów 2 rzędu (*C* i *D*) oraz przekształcenia rzutowego (*E*).

W trakcie badań rozważano następujące zagadnienia:

— wpływ ilości punktów wykorzystanych do wyznaczenia współczynników transformacji na wielkość deformacji szczytkowej (deformacji pozostałej po korekcji, wchodzącej do opracowań fotogrametrycznych),

— wpływ metody transformacji z wykorzystaniem 4 punktów stałych, na wielkość deformacji szczytkowej,

— wielkość średniej deformacji szczytkowej dla różnych gatunków filmów,

— wielkość średniej deformacji szczytkowej dla „wtórnych kopii”,

— rozkład deformacji szczytkowej w badanych punktach siatki na poszczególnych rodzajach filmu.

Na podstawie przeprowadzonych badań sformułowano następujące wnioski:

— przyjęcie do transformacji 8 lub 25 punktów oparcia zamiast 4 nie wpływa znacząco na polepszenie wyników (średnio około $1,5 \mu\text{m}$),

— najkorzystniejszą korekcję deformacji na 4 punkty oparcia uzyskujemy przy zastosowaniu transformacji wg wzorów *C*. Średnio od 1 do $3 \mu\text{m}$ zmniejsza się tu deformacja szczytkowa w stosunku do wyników uzyskanych przy zastosowaniu pozostałych metod transformacji,

— średnia deformacja szczytkowa, pozostała po korekcji transformacją *C*, wynosi, dla przebadanych filmów, od $\pm 5 \mu\text{m}$ do $\pm 8 \mu\text{m}$,

— powtórne kopiowanie, stosowane przy wykonywaniu wtórnych negatywów, praktycznie nie powoduje zwiększenia deformacji szczytkowych.

— rozkład deformacji szczytkowych w obrębie jednego zdjęcia ma charakter przypadkowy. Tylko w niewielkich fragmentach niektórych zdjęć występują zniekształcenia o charakterze systematycznym. Spowodowane to może być niezachowaniem płaskości filmu w momencie kopiowania. Maksymalna deformacja obrazu na żadnej z kopii nie przekracza wielkości dwukrotnego błędu średniego.

5. Badania w zakresie zastosowania metod aerotriangulacji

Jednym z etapów fotogrametrycznego opracowania mapy jest aerotriangulacja. W przypadku opracowania mapy trasy ulicy mamy do czynienia z pojedynczym szeregiem zdjęć. Obecnie w kraju stosuje się kilka metod aerotriangulacji.

Ze względu na wysokie wymagania stawiane opracowaniom numerycznym, wykonano analizę porównawczą wyników uzyskanych różnymi metodami aerotriangulacji analitycznej na podstawie tych samych obserwacji. Obserwacje kameralne wykonano na stekometrze dla pojedynczych szeregów zdjęć w skalach wymienionych w tablicy 1. Obliczenia wykonano następującymi metodami: metodą blokową z niezależnych zdjęć i z niezależnych modeli oraz metodą szeregową opracowaną w ramach prac nad technologią sporządzania map tras. Współrzędne sygnalizowanych punktów kontrolnych porównano z ich współrzędnymi geodezyjnymi, przyjętymi za prawdziwe. Zestawienie średnich błędów położenia sytuacyjnego i wysokościowego punktu wg skal zdjęć i metod obliczeń przedstawia tablica 1. Najmniejsze średnie błędy położenia (m_p) dla poszczególnych szeregów zostały w tablicy podkreślone.

Łatwo zauważyć, że najwyższe dokładności uzyskano z aerotriangulacji metodą z niezależnych zdjęć. Wyniki są korzystniejsze średnio o 20% w stosunku do dwóch pozostałych metod. Wprawdzie przy zastosowaniu metod z niezależnych zdjęć osiągnięto najwyższe dokładności, to jednak ze względów ekonomicznych, dla celów produkcyjnych, zaleca się stosować metodę szeregową oraz blokową z niezależnych modeli. Zabezpieczają one żądane dokładności i skracają 1 1/2-krotnie czas pracy EMC.

Wartość m_z w tablicy 1 wskazują na to, że wysokości punktów wyznaczanych z aerotriangulacji, na podstawie zdjęć wykonanych kamerą szerokątną, mogą być przyjęte do poziomowania modeli na autografie.

Dodatkowo wykonano aerotriangulację analogową na autografie Wild A-8 dla jednego szeregu zdjęć w skali 1 : 2680, $c_k = 152$ mm. Średnie błędy współrzędnych punktu wyniosły odpowiednio: $m_x = \pm 0,035$ m, $m_y = \pm 0,052$ m, $m_p = \pm 0,063$ m, $m_z = \pm 0,09$ m. Jak widać uzyskane wyniki nie ustępują wynikom z aerotriangulacji analitycznej. Należy dodać, że eksperyment ten był wykonany w warunkach laboratoryjnych i w przypadku tego rodzaju pracy w produkcji należałoby odpowiednio przygotować autograf A-8 (bardzo staranna rektyfikacja) i obserwacje wykonywać nie w systemie akordowym.

Istnieją poglądy, że przy obserwacji znaczków tłowych w postaci niepełnego krzyża, korzystniejsza jest obserwacja ramion krzyża aniżeli subiektywnie zlokalizowanego punktu przecięcia ramion krzyża. Przeprowadzone badania w tym zakresie, na kilku szeregach zdjęć, nie wy-

Tablica 1

Skala zdjęć	Odległość obrazu	Średnie błędy położenia punktu (w cm)					
		Aerotriangulacja z niezależnych zdjęć		blokowa z niezależnych modeli		Aerotriangulacja szeregowa	
		m_p	m_z	m_p	m_z	m_p	m_z
1 : 1350	$c_k = 210$ mm diapozytyw	4,4	10,3	6,1	9,0	4,8	8,9
1 : 1350	$c_k = 210$ mm negatyw	3,5	7,5	5,4	8,4	4,6	10,0
1 : 2130	$c_k = 210$ mm diapozytyw	4,1	16,9	4,2	13,6	4,6	14,6
1 : 2680	$c_k = 152$ mm diapozytyw	5,2	4,4	4,7	5,4	6,2	5,5
1 : 2680	$c_k = 152$ mm negatyw	4,3	4,6	4,3	8,4	5,1	3,8
1 : 3190	$c_k = 152$ mm diapozytyw	3,7	4,4	3,8	4,2	4,0	5,0
1 : 3120	$c_k = 210$ mm diapozytyw	6,1	15,0	7,6	14,4	7,7	20,8
1 : 4110	$c_k = 210$ mm diapozytyw	5,8	23,2	8,2	35,6	8,0	42,4

kazały słuszności tego poglądu. Wyniki badań dla obydwu wariantów różniły się pomiędzy sobą minimalnie (3 μ m w skali zdjęcia) i to w sposób przypadkowy.

6. Badania w zakresie opracowania treści mapy

6.1. Opracowanie analityczno-numeryczne

Obserwacje punktów sytuacyjnych wykonano równocześnie z aerotriangulacją na stekometrze dla zdjęć scharakteryzowanych w kolumnach 1, 2, 3 tablicy 2. Współrzędne tych punktów wyznaczono jak punktów masówki, stosując metodę z niezależnych modeli oraz szeregową.

W tablicy 2 zestawiono średnie błędy położenia punktów określone na podstawie współrzędnych i odcinków kontrolnych.

Praktyczne badania za granicą wykazały, że przy opracowaniach fotogrametrycznych zależność pomiędzy błędem położenia punktu i błę-

Tablica 2

Skala zdjęć	Odległość obrazu w mm	Obraz fotogra- ficzny	Średni błąd współ- rzędnych punktów sygnalizowanych (w cm)				Średni błąd odcinków zawartych pomiędzy punktami				
			m_x	m_y	m_p	m_z	sygnalizowa- nymi odcinki		nie sygna- lizo- wany- mi (w cm)	lata- riami	naroż- nikami budyn- ków
							krótkie	długie			
1	2	3	4				5	6	7	8	9
1 : 1350	210	negatywy diapozy- tywy	3,5	3,1	4,6	10,0	2,5	4,4	4,6	5,6	16,2
1 : 1350	210	tywy	3,8	3,0	4,8	8,9	1,9	5,6	3,3	2,8	8,9
1 : 2130	210	„	3,0	3,0	4,2	13,6	3,4	4,3	4,9	4,8	6,7
1 : 3120	210	„	5,2	5,6	7,6	14,4	3,7	7,9	6,3	7,6	11,9
1 : 4110	210	„	5,6	5,9	8,2	35,6	5,6	8,9	8,8	15,6	17,2
1 : 2680	152	negatywy diapozy- tywy	3,9	3,2	5,0	3,8	4,0	4,2	5,2	6,6	15,0
1 : 2680	152	tywy	2,4	4,1	4,7	5,4	3,4	3,8	7,0	6,4	8,9
1 : 3190	152	„	2,9	2,5	3,8	4,2	3,7	3,3	7,1	7,7	8,3

dem odcinka jest różna, zależna przede wszystkim od długości wyznaczonych odcinków. Wnioski te znalazły potwierdzenie w naszych badaniach. Przeważnie jednak przyjmuje się, dla ogólnej oceny opracowania, że błąd odcinka równa się błędowi położenia punktu.

Z tablicy 4 wynika, że przy założonej dokładności połowej osnowy fotogrametrycznej równej dokładności poligonizacji technicznej I klasy, zwiększenie skali zdjęć powyżej 1 : 3000 nie wpływa praktycznie na wzrost dokładności opracowania.

Średnie błędy współrzędnych punktów sygnalizowanych, wyznaczone na podstawie zdjęć z kamery szerokokątnej w skalach 1 : 3190 i 1 : 2680, wynoszą około ± 3 cm, co stanowi około $\pm 10 \mu\text{m}$ w skali zdjęcia 1 : 3000. Wynik ten jest zadowalający dla naszych celów i pozwala stwierdzić, że za pomocą metod fotogrametrycznych można uzyskać wysoko dokładną osnowę szczegółową dla opracowania map terenów kategorii A.

Jeżeli wyłączymy opracowanie ze zdjęć w skali 1 : 4110, to z tablicy 4 wynika, że wszystkie szczegóły sytuacyjne oprócz narożników budynków, wyznaczone są z wysoką dokładnością w granicach od ± 3 cm do ± 7 cm. Narożniki budynków, przede wszystkim ze względu na trudności jednoznacznej identyfikacji narożników dachów na modelu z ich odpowiednikami przy pomiarach okapów, określane są z około trzykrotnie niższą dokładnością w porównaniu z punktami sygnalizowanymi. Szczególne trudności napotyka obserwator przy identyfikacji narożników na negatywach, co znalazło swój wyraz w średnich błędach zestawionych w kolumnie 9 tablicy 2.

Należy dodać, że narożniki budynków stanowiły na obiekcie doświadczalnym tylko około 5% ogólnej liczby punktów niezbędnych do opracowania treści mapy sytuacyjnej. Pozostałe szczegóły stanowiły: punkty sygnalizowane lub bardzo dobrze odfotografowane (pokrywy naziemne urządzeń podziemnych) około 10%, trawniki, krawężniki około 50%, słupy, znaki drogowe około 10%, tory tramwajowe, świetliki, śmietniki około 15%, oraz inne około 10%.

Błędy maksymalne, dla poszczególnych grup szczegółów, nie przekraczają wartości 3-krotnych błędów średnich podanych w tabelicy 2.

6.2. Opracowanie analogowo-numeryczne

Badania w zakresie opracowań analogowych wykonane zostały na podstawie zdjęć lotniczych w skalach 1 : 1350, przy zastosowaniu stereometrografu oraz w skalach 1 : 2680 i 1 : 3190 na autografie Wild A-8. Skalę modelu wynosiły odpowiednio: 1 : 1000, 1 : 1500 i 1 : 2000. Oceny opracowań wykonano na podstawie współrzędnych punktów kontrolnych i długości odcinków.

Współrzędne punktów modelu można odczytywać z liczników autografu (na A-8 jest to kłopotliwe ze względu na ich usytuowanie) lub koordynatografu (prawdopodobieństwo uzyskania niższych dokładności). W trakcie opracowań doświadczalnych ze zdjęć w skali 1 : 3190 i 1 : 2680 dokonywano odczytów z obydwu liczników dwukrotnie. Współrzędne te transformowano w/g wzorów *A*, *B*, *C*, *E*, podanych w punkcie 4. Wyniki badań wskazują na to, że zarówno współrzędne odczytane z liczników koordynatografu i autografu, jak i metoda transformacji, nie miały praktycznego wpływu na dokładność współrzędnych wyznaczanych punktów.

W tabelicy 3 zestawiono średnie błędy określenia współrzędnych punktów sygnalizowanych oraz średnie błędy odcinków zawartych pomiędzy szczegółami sytuacyjnymi. Podane w niej wartości uzyskano na podstawie współrzędnych odczytanych z liczników autografu, przy zastosowaniu transformacji *E*.

Dokładność wyznaczenia współrzędnych punktów sygnalizowanych wynosi około ± 4 cm, co stanowi ± 13 μ m w skali zdjęcia 1 : 3000 i odpowiada wymogom dla osnowy szczegółowej przy opracowaniu mapy na terenach kategorii A. Szczegóły sytuacyjne, poza narożnikami budynków, określane są z dokładnością od ± 4 cm do ± 7 cm w zależności od dokładności identyfikacji. Narożniki budynków, ze względów podanych w p. 6.1, wyznaczone są z dokładnością około ± 10 cm, tj. około 3-krotnie niższą aniżeli punkty sygnalizowane. Błędy maksymalne dla poszczególnych

Tablica 3

Skala zdjęć	Odległość obrazu w mm	Skala modelu	Średni błąd współrzędnych punktów sygnalizowanych (w cm)				Średni błąd odcinków kontrolnych zawartych pomiędzy punktami				
			m_x	m_y	m_p	m_z	sygnalizowanymi odcinkami		nie-syg-nalizowanymi	lata-rniami	naroż-nikami budyn-ków
							krót-kie	dłu-gie			
(w cm)											
1 : 1350	210	1 : 1000	4,3	4,7	6,4	8,9	2,5	5,7	3,4	3,3	6,9
1 : 2680	152	1 : 1500	3,7	3,2	5,1	8,2	3,9	4,3	6,5	4,2	10,4
1 : 3190	152	1 : 2000	4,7	4,2	6,2	8,8	3,9	4,9	6,7	6,0	12,6

grup szczegółów nie przekraczają wartości 3-krotnych błędów średnich podanych w tablicy 3.

Z tablicy 3 wynika, że wyznaczone na autografie wysokości punktów (pikiet) mogą być przydatne do zrysowania rzeźby o 0,5 m cięciu warstwicowym.

Badanie różnic dwukrotnego nastawienia na różne szczegóły sytuacyjne, w ilościach od 30 do 80 szczegółów w określonej grupie, w różnych skalach modelu, wykazało, że stwiając dwukrotnie znaczek na określonym punkcie i jako rezultat opracowania przyjmując wartość średnią z odczytanych współrzędnych, podnosimy dokładność opracowania numerycznego średnio o około 0,7 cm dla skali modelu 1 : 1000 i 1,4 cm dla skali modelu 1 : 2000. Stąd wniosek, że przy numerycznym opracowaniu analogowym szczegółów sytuacyjnych, zwłaszcza ze zdjęć w skali 1 : 3000, wskazane jest obserwacje wykonywać dwukrotnie.

6.3. Opracowanie analogowo-graficzne

Dokładność graficznego opracowania mapy określono z wzoru

$$m_g = \mp \sqrt{m_n^2 + m_w + m_k},$$

gdzie: m_g — średni błąd graficznego określenia położenia szczegółów sytuacyjnych,

m_n — średni błąd wzajemnego położenia punktów sytuacyjnych,

m_w — średni błąd z tytułu wpasowania planszy,

m_k — średni błąd z tytułu kreślenia pierworysu.

Jako średni błąd z tytułu wpasowania punktów na planszy z odpowiednimi punktami na modelu (m_w) oraz średni błąd wykreślenia (m_k) przyjęto empirycznie wielkości po $\pm 0,1$ mm w skali mapy (maksymalne dopuszczalne błędy określone instrukcjami wynoszą 0,15 mm w skali mapy).

Wartość średniego błędu m_n dla mapy w skali 1 : 500 uzyskano przez odczytanie z liczników koordynatografu współrzędnych punktów, będących szczegółami sytuacyjnymi oraz ich transformację na układ terenowy. Współczynniki transformacji, uwzględniające tylko skręt i przesunięcie układów, wyznaczono metodą najmniejszych kwadratów na podstawie sygnalizowanych punktów kontrolnych. Z przetransformowanych współrzędnych obliczono odcinki i porównano miarami kontrolnymi.

Wartość średniego błędu m_n dla mapy w skali 1 : 250, sporządzonej ze zdjęć w skali 1 : 1350, uzyskano drogą jak dla mapy w skali 1 : 500. Natomiast dla wersji opracowania mapy w skali 1 : 250 ze zdjęć w skali 1 : 2680 postępowanie takie nie było możliwe, ponieważ dodatkowe urządzenie umożliwiające dwukrotne zwiększenie skali opracowania znajduje się poza licznikami koordynatografu. Dla tego przypadku wykonywano nakłucia na planszy obserwowanych punktów, a następnie odczytano ich współrzędne na koordynatografie.

Wartość m_g możnaby określić również innym sposobem, tj. przez odczytanie z wykreślonego pierworysu mapy współrzędnych interesujących nas punktów. Sposób ten wymagałby, w naszym przypadku, aż czterokrotnego sporządzania i wykreślenia pierworysów na tym samym odcinku ulicy. Byłoby to jednak jak na nasze możliwości zbyt pracochłonne i kosztowne.

Wymagania w zakresie dokładności graficznej dla mapy w skali 1 : 500 i 1 : 250, scharakteryzowane średnim błędem położenia szczegółu sytuacyjnego I grupy dokładnościowej w stosunku do punktów poligonizacji technicznej I klasy, omówione zostały w rozdziale 2 i wynoszą dla mapy w skali 1 : 500 $\pm 0,3$ mm oraz dla mapy w skali 1 : 250, w zależności od sposobu opracowania wyników pomiaru $\pm 0,6$ mm i $\pm 0,46$ mm.

Średnie błędy położenia szczegółów sytuacyjnych określone dla mapy sporządzonej na autografie zestawiono w tablicy 4. Wynika z niej, że położenie szczegółów sytuacyjnych, poza narożnikami budynków, na mapie w skali 1 : 500 i 1 : 250 wykonanej metodą fotogrametryczną, określone zostały z wysoką dokładnością około $\pm 0,2$ mm, co odpowiada wymaganiom stawianym dla osnowy szczegółowej. Dokładność ta odpowiada najlepszym opracowaniom uzyskiwanym przy zastosowaniu geodezyjnych pomiarów szczegółów dla terenów kategorii A i następnie ich kartowaniu. Narożniki budynków wyznaczone są z dokładnością średnio około $\pm 0,3$ mm w skali opracowania 1 : 500 oraz około $\pm 0,45$ mm w skali opracowania 1 : 250 ze

Tablica 4

Skala zdjęć	Odległość obrazu w mm	Skala modelu	Skala opracowania	Średni błąd graficznego określenia położenia szczegółów sytuacyjnych			
				sygnalizowanych	nie sygnalizowanych	latarni	narożników budynków
				w mm w skali opracowania			
1 : 1350	±10	1 : 1000	1 : 250	0.18	0.19	0.22	0.34
1 : 2680	152	1 : 1500	1 : 250	0.23	0.30	0.21	0.45
1 : 2680	152	1 : 1500	1 : 500	0.17	0.19	0.16	0.23
1 : 3190	152	1 : 2000	1 : 500	0.16	0.20	0.19	0.30

zdjęć w skali 1 : 2680 i około $\pm 0,35$ mm ze zdjęć w skali 1 : 1350. Dokładności te spełniają również wymagania ustalone dla omawianych skal opracowanych.

7. Ustalenie optymalnych skal zdjęć lotniczych i odległości obrazu

Wybór odpowiedniej skali zdjęć lotniczych uzależniony jest od następujących czynników:

- wymaganej dokładności opracowania mapy,
- ograniczeń wynikających z konstrukcji instrumentów fotogrametrycznych,
- formatu arkusza mapy,
- czytelności szczegółów sytuacyjnych mających stanowić treść mapy,
- ekonomiki opracowania mapy.

Za możliwie najmniejszą skalą zdjęć przemawia fakt, że odfotografowanie większego obszaru terenu na jednym zdjęciu zapewnia odfotografowanie większej ilości istniejącej osnowy geodezyjnej, a tym samym zmniejszenie nakładu pracy przy pomiarze fotogrametrycznej osnowy polowej i przy fotogrametrycznym opracowaniu mapy.

Natomiast ze wzrostem skali zdjęć spodziewamy się uzyskać lepszą identyfikację szczegółów sytuacyjnych, a tym samym zwiększyć dokładność opracowania.

Pozostałe wymienione czynniki pozwalają na wyznaczenie optymalnej skali zdjęć przez wymagania wpływające z określonej skali opracowania mapy.

Dla mapy terenów kategorii A jako wymaganą dokładność numerycznego opracowania szczegółów sytuacyjnych przyjęto wielkość $\pm 0,1$ m (analogia do błędu pomiaru szczegółu sytuacyjnego). Określenie dokładności

ści numerycznych opracowań fotogrametrycznych wykonano dla zdjęć lotniczych w różnych skalach i wyniki zestawiono w tablicach 2 i 3. Jak widać, najmniejszą skalą zdjęć, która gwarantuje wymagane dokładności opracowania mapy jest skala 1 : 3000. Dalsze zwiększanie skali zdjęć praktycznie nie zwiększa dokładności opracowania, co wynika przede wszystkim z ustalonych wymagań dokładnościowych dla połowej osnowy geodezyjnej i fotogrametrycznej.

Dostępne w kraju przyrządy do opracowań analogowych, takie jak: Autograf Wild A-8, Stereometrograf, Stereoplanigraf, ze względów konstrukcyjnych, pozwalają na opracowanie ze zdjęć w skali 1 : 3000 mapy w maksymalnej skali 1 : 500. Na wyżej wymienionych autografach możliwe jest opracowanie mapy w skali 1 : 250 jedynie ze zdjęć w skali około 1 : 1300. Natomiast zestaw Autograf A-8 Wild z koordynatografem PZT 17 pozwala na bezpośrednie wykreślenie mapy w skali 1 : 250 ze zdjęć w skali 1 : 3000.

Badania zmierzające do określenia wzrostu liczby pomiarów uzupełniających w zależności od zmniejszania skali zdjęć wykazały, że wzrost ten jest znikomy i na przykład dla opracowania ze zdjęć w skali 1 : 4110 w stosunku do opracowania ze zdjęć w skali 1 : 1350 wynosi tylko 2%.

Nie jest więc celowe zwiększanie skali zdjęć w nadziei na znaczące obniżenie kosztów opracowania z tytułu zmniejszenia liczby pomiarów uzupełniających.

Powyżej przeprowadzone rozważania wykazały, że optymalną skalą zdjęć dla sporządzania map w omawianych skalach jest skala 1 : 3000.

Ponadto zaleca się stosować kamerę o odległości obrazu 152 mm i formacie zdjęć 23×23 cm zamiast kamery normalnokątnej, z następujących powodów:

- możliwości odfotografowania na zdjęciu większej liczby punktów istniejącej osnowy geodezyjnej,

- mniejszej liczby zdjęć, dla których wymagana jest mniejsza ilość połowej i kameralnej osnowy fotogrametrycznej oraz mniejszej liczby stereogramów, czyli mniejszemu nakładowi pracy przy budowaniu modeli stereoskopowych,

- korzystniejszym warunkom geometrycznym dla wyznaczenia elementów orientacji wewnętrznej, przy aktualnie osiąganym dokładności wyznaczenia współrzędnych tłowych,

- lepszej czytelności zdjęć, dzięki niższej wysokości lotu (cieńsza warstwa miejskiej zadymionej atmosfery),

- wyższym dokładnościami wyznaczonych współrzędnych x , y , z ,

- wyznaczone wysokości punktów z aerotriangulacji mogą być przyjęte do poziomowania modeli na autografie,

- wzrost liczby pomiarów uzupełniających wynosi tylko 1%.

8. Fotogrametryczne technologie sporządzenia mapy

Przeprowadzone prace doświadczalne, opisane w poprzednich rozdziałach, pozwoliły na ustalenie parametrów technicznych do technologii fotogrametrycznego sporządzenia mapy ulicy w skali 1 : 250. Zasadniczo wyodrębnić można cztery wersje technologiczne różniące się pomiędzy sobą zastosowanym sprzętem, parametrami technicznymi i ekonomicznymi. W sposób ogólny wersje te z oceną techniczną przedstawione są w tablicy 5.

Przy pomocy tradycyjnych autografów z możliwością przekładni autograf — koordynatograf $A : K$ równą 1 : 4 (1 : 5) można sporządzić mapę w skali 1 : 250 dwoma drogami:

— bezpośrednio ze zdjęć w skali 1 : 1300 — I wersja sporządzenia mapy, podana w tablicy 11,

— pośrednio poprzez sporządzenie ze zdjęć w skali 1 : 3000 pierworysu autogrametrycznego w skali 1 : 500 oraz powiększenie go do skali 1 : 250 — II wersja sporządzenia mapy.

Zestaw autografu A-8 koordynatografem PZT-17 umożliwia bezpośrednie sporządzenie mapy w skali 1 : 250 ze zdjęć w skali 1 : 3000. Ta wersja sporządzenia mapy podana jest jako III w tablicy 5. W wersji tej mogą być zastosowane również inne autografy, posiadające przekładnię $A : K$ równą 1 : 8 (skala modelu 1 : 2000).

Wersja IV wymaga zastosowania autografu z przystawką do automatycznej rejestracji współrzędnych i polega na analogowo-numerycznym opracowaniu treści mapy oraz na automatycznym jej kartowaniu i kreśleniu.

9. Analiza techniczno-ekonomiczna

Pod względem dokładności opracowania numerycznego treści mapy przedstawione wersje praktycznie nie wykazują różnic. Przy zastosowaniu zdjęć w skalach równych lub większych od 1 : 3000 dokładność opracowania scharakteryzowana jest średnim błędem położenia szczegółów sytuacyjnych I grupy dokładnościowej względem punktów poligonizacji technicznej I klasy i wynosi około ± 6 cm. Jest ona uzależniona przede wszystkim od dokładności polowej osnowy fotogrametrycznej oraz dokładności identyfikacji szczegółów sytuacyjnych.

Dokładność identyfikacji jest wysoka dla punktów sygnalizowanych, jak również nie sygnalizowanych, dobrze odwzorowanych na zdjęciach. W trakcie prac doświadczalnych ustalono, jakie szczegóły sytuacyjne od-fotografowują się słabiej i w związku z tym przed wykonaniem zdjęć

Tablica 5

Wersje technologii	I	II	III	IV
Skala zdjęć lotniczych Odległość obrazu	1 : 1300 $c_k = 210$ mm	1 : 3000 $c_k = 152$ mm	1 : 3000 $c_k = 152$ mm	1 : 3000 $c_k = 152$ mm
Rodzaj sprzętu	autograf z przekładnią A : K równą 1 : 4 (1 : 5)	autograf z przekładnią A : K równą 1 : 4 (1 : 5)	autograf A-8 z koordynatografem PZT 17 lub inny z przekładnią A : K równą 1 : 8	autograf z przystawką do automatycznej rejestracji współrzędnych
Sporządzenie mapy	Sporządzenie pierworysu autogrametrycznego bezpośrednio w skali 1 : 250	Sporządzenie pierworysu autogrametrycznego w skali 1 : 500 oraz powiększenie go do skali 1 : 250	Sporządzenie pierworysu autogrametrycznego bezpośrednio w skali 1 : 250	Analogowo-numeryczne opracowanie treści mapy i automatyczne kartowanie w skali 1 : 250
Średni błąd analogowo-numerycznego wyznaczenia współrzędnych x, y punktu sygnalizowanego	$\pm 0,045$ m	$\pm 0,045$ m	$\pm 0,045$ m	$\pm 0,045$ m
Średni błąd analogowo-numerycznego wyznaczenia położenia szczegółu sytuacyjnego I grupy	$\pm 0,059$ m	$\pm 0,062$ m	$\pm 0,062$ m	$\pm 0,062$ m
Średni błąd graficznego określenia położenia szczegółu sytuacyjnego I grupy (w mm w skali 1 : 250)	$\pm 0,25$ mm	$\pm 0,6$ mm	$\pm 0,31$ mm	$\pm 0,29$ mm

muszą zostać zasygnalizowane. Należą do nich: granice własności, krawężniki na załamaniach i łukach, podstawy cienkich słupków o średnicy mniejszej aniżeli 10 cm oraz wszystkie elementy naziemne uzbrojenia terenu z wyjątkiem znaków żelaznych na betoniu o średnicy 60 cm i większej, znaków betonowych na trawie o średnicy 60 cm i większej, betonowych pokryw studni telefonicznych z wietrznikami, wpustów ulicznych (kratek ściekowych). Największą trudność w identyfikacji stanowią narożniki budynków, które ze względów podanych w podrozdziale 6.1 wyznaczane są z około 3-krotnie niższą dokładnością aniżeli punkty sygnalizowane.

Dokładność graficzna map w skali 1 : 250 opracowywanych zgodnie z podanymi wersjami, jest różna. Najmniej dokładna mapa powstanie przez dwukrotne powiększenie pierworysu autogrametrycznego wykonanego w skali 1 : 500 (wersja II). Dokładność jej, scharakteryzowana średnim błędem graficznego określenia położenia szczegółu sytuacyjnego I grupy względem punktów poligonizacji technicznej I klasy, wynosi $\pm 0,6$ mm w skali mapy 1 : 250 jako, że błąd mapy w skali 1 : 500 równy $\pm 0,3$ mm zostaje również dwukrotnie powiększony. W przypadku, gdy mapa w skali 1 : 500 wykonana zostanie z dokładnością $\pm 0,2$ mm, to powiększona mapa do 1 : 250 charakteryzować się będzie dokładnością $\pm 0,4$ mm. Jednak wymagana przez instrukcję dokładność graficznego opracowania mapy w skali 1 : 500 wynosi $\pm 0,3$ mm i należy brać tę wartość pod uwagę przy przeliczaniu na skalę 1 : 250.

Analiza techniczna wykazała, że mapy wykonane wg pozostałych wersji I, III i IV będą posiadały podobną dokładność graficzną wynoszącą około $\pm 0,3$ mm w skali mapy, tj. dwukrotnie wyższą w stosunku do wersji II.

Wyniki doświadczeń nad opracowaniem mapy przy użyciu kartografu PZT 17, umożliwiającego dwukrotne powiększenie skali opracowania, wskazują na to, iż błąd tego powiększenia jest praktycznie nieuchwytny i że na dokładność mapy mają wpływ przede wszystkim błąd opracowania na modelu stereoskopowym oraz błąd wpasowania i kreślenia.

Przy wersji IV, błąd automatycznego kartowania i kreślenia może być praktycznie zaniedbywalny, to znaczy, że błąd graficzny mapy będzie równy błędowi opracowania numerycznego przeliczonego na skalę mapy.

Dla uzyskania pełniejszej oceny przedstawionych wersji sporządzenia mapy wykonano analizę ekonomiczną zestawiając kosztorysy na sporządzenie mapy w skali 1 : 250 według dwóch metod fotogrametrycznej i geodezyjnej. Kosztorysy wykonano na podstawie obowiązujących cenników GUGiK dla dwu wariantów sporządzenia mapy 9-kilometrowego odcinka ulicy (szerokość pasa opracowania 125 m, strefa 7, stopień trud-

ności IV, kategoria gruntu IV). Pierwszy wariant to bezpośrednie opracowanie pierworysu w skali 1 : 250 — w metodzie fotogrametrycznej ze zdjęć w skali 1 : 3000 (III wersja w tablicy 5) i w metodzie geodezyjnej przez bezpośrednie kartowanie wyników pomiaru. Drugi wariant to opracowanie najpierw pierworysu w skali 1 : 500 — w metodzie fotogrametrycznej ze zdjęć w skali 1 : 3000 (II wersja w tablicy 5), w metodzie geodezyjnej przez bezpośrednie kartowanie wyników pomiaru, a następnie jego powiększenie do skali 1 : 250.

Z analizy wynika, że koszt opracowania 1 ha mapy trasy ulicy metodą fotogrametryczną jest praktycznie równy kosztowi opracowania metodą geodezyjną i wynosi około 3400 złotych dla skali 1 : 500 i około 3900 złotych dla skali 1 : 250. Pracochłonność natomiast przy opracowaniu metodą fotogrametryczną jest mniejsza od pracochłonności przy metodzie geodezyjnej o około 20%.

Recenzował: doc. dr hab. inż. Andrzej Majde
Rękopis złożono w Redakcji w październiku 1977 r.

ГРАЖИНА СКАЛЬСКА

АНАЛИЗ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ РАЗРАБОТКИ
КАРТЫ СИТУАЦИИ УЛИЦ В МАСШТАБЕ 1 : 250

Резюме

Самым крупным масштабом карты города, разработанной до сих пор в фотограмметрической прдукции, был масштаб 1 : 1000. В 1972 году начато в ИГиК исследовательские работы направленные на разработку технологии фотограмметрического составления карт трасс улиц в масштабе 1 : 250. Целью работы был анализ методов и способов составления карты на основе аэроснимков с точки зрения получения требуемой высокой точности разработки с учетом экономической стороны. В результате анализа установлено технические параметры до четырех технологических версий, отмечающихся между собой требуемым оборудованием, точностями и стоимостью составления карты. Результаты работы внедрены на нескольких производственных объектах.

GRAŻYNA SKALSKA

ANALYSIS OF PHOTOGRAMMETRIC METHODS OF ELABORATION
OF STREET SITUATION MAP AT SCALE 1 : 250

Summary

1 : 1000 was the largest scale of city map prepared in photogrammetric production up to now. In 1972 research works were commenced in Institute of Geodesy and Cartography in order to elaborate the technology of photogrammetric preparation of street maps at scale 1 : 250. Analysis of methods of map preparation on the base of aerial photographs, taking into account economical aspects, so that the required high accuracy may be obtained, was the purpose of this work. As the result of this analysis technical parameters of four technological versions were established. These versions are characterized by different equipment, accuracy and costs of map elaboration. The results of this work were already implemented on a few objects.

