

Instytut Geodezji
Akademii Rolniczej
Kraków

Marek Kowalski, Zbigniew Węgrzyn

DOKŁADNOŚĆ WYZNACZANA RÓŻNIC WYSOKOŚCI PRZY FOTOINTERPRETACJI RZĘBY TERENU

Rzeźba terenu jest jednym z czynników, który ma istotne a czasami nawet decydujące znaczenie przy pracach planistycznych i projektowych z zakresu miejscowego planowania przestrzennego. Projektanci w zależności od rozwiązywanych zadań wymagają informacji o rzeźbie terenu z określoną dokładnością.

Możliwość uzyskania modelu przestrzennego terenu na podstawie zdjęć lotniczych pozwala na zapoznanie się z rzeźbą i elementami mikrorzeźby na podstawie cech rozpoznawczych /bezpośrednich i pośrednich/, a również na pomiar ważnych dla projektu jej elementów jak wysokości względne, wielkości spadków itp.

Powszechnie używany do szczegółowej fotointerpretacji jest stereoskop ze stereomikromierzem. Dane techniczne stereoskopu i mikrotwierza warunkują jego możliwości pomiarowe. Najmniejszą różnicę wysokości, jaką można określić przedstawia wzór: [1]

$$dh = \frac{H}{v \cdot b} \Delta \gamma \quad (1)$$

gdzie: H - wysokość lotu, v - powiększenie stereoskopowe, b - baza fotografowania w skali zdjęcia, $\Delta \gamma$ - ostrość binokularnego widzenia /30"/

W tabeli 1 zestawiono wielkości dh dla różnych powiększeń stereoskopowego v i wysokości fotografowania H. Przy obliczeniach przyjęto: $\Delta \gamma = 30''$ i b = 72 mm /zdjęcie 18 x 18 cm, pokrycie podłużne 60%/.

T a b e l a 1

Określenie najmniejszych różnic wysokości $|dh|$ przy różnych powiększeniach stereoskopu $|V|$ i różnej wysokości fotografowania $|H|$.

V	dh (w m) przy wysokości H (w m)			
	500	1000	1500	2000
0,5	0,5	1,0	1,5	2,1
1	0,3	0,5	0,8	1,0
2	0,1	0,2	0,3	0,5
4	0,06	0,1	0,2	0,3
6	0,04	0,09	0,15	0,2
8	0,03	0,07	0,09	0,1

Z powyższej tabeli wyraźnie widać, że wraz ze wzrostem powiększenia można określić coraz mniejsze różnice wysokości.

Różnice wysokości między dowolnymi punktami wyznacza się przez pomiar paralaksy podłużnej punktów na stereoparze.

Różnicę wysokości oblicza się ze wzoru: [3]

$$h = \frac{H}{b + \Delta p} \Delta p \quad (2)$$

gdzie: H - wysokość lotu, b - baza fotografowania w skali zdjęcia, Δp - różnica paralaks.

Dla terenów równinnych można stosować wzór nieco uproszczony

$$h = \frac{i}{b} \Delta p \quad (3)$$

Wzorem (3) można posługiwać się przy założeniu, że błąd Δh różnicy wysokości nie przekroczy z góry założonych wielkości. Wzór (4) określa górną granicę różnic wysokości zapewniając nie przekroczenie przyjętej wielkości błędu Δh .

$$h \leq \sqrt{H \cdot |\Delta h|} \quad (4)$$

Wielkości te zestawiono w tabeli 2.

T a b e l a 2

Zależność maksymalnych różnic wysokości obiektów z wysokością fotografowania $|H|$ przy założeniu stałej wielkości błędu $|\Delta h|$.

Wysokość lotu H w metrach	Δh	Maksymalna różnica wyso- kości
500	0,5	15
1000	1	32
1500	2	55
2000	5	100

Dokładność wyznaczenia różnic wysokości wyraża się średnim błędem.

$$m_h = \sqrt{m_{h_H}^2 + m_{h_b}^2 + m_{h_{\Delta p}}^2} \quad (5)$$

po zróżniczkowaniu otrzymujemy:

$$m_{h_H} = \frac{m_H}{H} h, \quad m_{h_b} = \frac{m_b}{b} \frac{h/H-h}{H},$$

$$m_{h_{\Delta p}} = \frac{m_{\Delta p}}{b} \frac{H-h}{H} \quad (6)$$

ze wzoru na średni błąd h wynika, że dominującą rolę spełnia element

$$m_{h_{\Delta p}}$$

Wg badań Sedyszewa [2] przyjęto założenie:

$$\sqrt{m_{h_H}^2 + m_{h_b}^2} = \frac{1}{3} m_{h_{\Delta p}} \quad (7)$$

co w wyniku przekształceń daje:

$$\frac{m_H}{H} = \frac{m_b}{b} = \frac{1}{3\sqrt{2}} \cdot \frac{m_{\Delta p}}{b} \cdot \frac{H}{h} \quad (8)$$

Wzór (8) wyraża minimalną dokładność określenia wysokości lotu H i bazy b przy założonej dokładności pomiaru paralaksy $m_{\Delta p}$. Dla $b = 72$ mm i $m_{\Delta p} = 0,035$ /dokładności otrzymywanej z pomiaru stereometrem/ błędy względne wielkości $\frac{m_H}{H} = \frac{m_b}{b}$ będą:

T a b e l a 3a

Określenie minimalnej dokładności wysokości lotu $|H|$ i bazy $|b|$ przy założonej dokładności pomiaru paralaksy $m_{\Delta p} / b = 72$ mm i $m_{\Delta p} = 0,035$ mm/.

Błędy względne	Stosunek różnic wysokości punktów terenu do wysokości lotu $\frac{h}{H}$			
	1:10	1:20	1:50	1:100
$\frac{m_H}{H}, \frac{m_b}{b}$	1:780	1:420	1:160	1:87

Natomiast dla $b = 72$ i $m_{\Delta p} = 0,1$ mm będzie:

T a b e l a 3b

Określenie minimalnej dokładności wysokości lotu $|H|$ i bazy $|b|$ przy założonej dokładności pomiaru paralaksy $m_{\Delta p} / b = 72$ mm i $m_{\Delta p} = 0,1$ mm/.

Błędy względne	Stosunek różnic wysokości punktów terenu do wysokości lotu $\frac{h}{H}$			
	1:10	1:20	1:50	1:100
$\frac{m_H}{H}, \frac{m_b}{b}$	1:305	1:175	1:60	1:30

Z tabel 3a i 3b wynika, że dla zachowania żądanej dokładności określenia różnicy wysokości h , przy założonej dokładności pomiaru paralaks, trzeba określić wysokości lotu i bazę zdjęcia z dokładnością uzależnioną od stosunku $\frac{h}{H}$.

Biorąc pod uwagę, że wpływ błędów względnych określenia wysokości lotu i wielkości bazy jest nieduży, można przyjąć, że:

$$m_h = \frac{H}{b} m_{\Delta p} \quad (9)$$

Wynika stąd, że błąd określenia różnic wysokości jest wprost proporcjonalny do wysokości lotu i wielkości błędu pomiaru paralaksy a odwrotnie proporcjonalny do długości bazy.

Dla przyjętych przykładowo wielkości H i $m_{\Delta p}$, oraz $b = 72$ mm ze -
stawiono w tabeli 4 wartości błędów średnich różnic wysokości m_h /
punktów terenowych w metrach.

T a b e l a 4

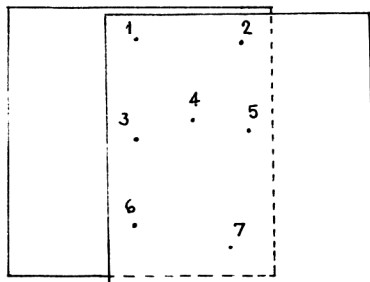
Wpływ wysokości lotu H i wielkości błędu pomiaru paralaksy $m_{\Delta p}$ /
przy $b = 72$ mm na wielkości błędów średnich różnic wysokości m_h /
punktów terenowych w metrach.

$m_{\Delta p}$ (w metrach)	Wysokość lotu H			
	500	1000	1500	2000
0,03	0,20	0,40	0,60	0,85
0,05	0,35	0,70	1,05	1,40
0,10	0,70	1,40	2,10	2,80

Po tych rozważaniach teoretycznych przejdźmy do praktycznego określenia dokładności wyznaczenia różnic wysokości za pomocą powszechnie do tego celu używanego stereoskopu ze stereomikromierzem.

Do badań użyto 4 pary zdjęć w skali około 1:4000 wykonanych kamerą o ogniskowej 210 mm z wysokości około 850 m, w terenie podgórskim.

Zdjęcia do pomiaru zorientowano na punkty główne zwracając uwagę na równą w przybliżeniu wartość paralaksy poprzecznej w punktach narożnych pary. Aby przekonać się, jakie wynikają błędy pomiaru Δp przy orientacji zdjęć bez uwzględniania elementów orientacji wzajemnej wybrano na stereoparce 7 charakterystycznych punktów terenowych [rys.1], dla których pomierzono paralaksy.



Rys.1. Stereopara z zaznaczeniem punktów pomiaru paralaksy
Fig. 1. Stereopara with marked points of parallax survey

Odczyty paralaks podłużnych wykonano na śrubie mikrometrycznej pod stereoskopem zwierciadlanym na diapozytywach i powtórzono na odbitkach stykowych. Obserwacje wykonano 10-krotnie każdorazowo zestrzajając zdjęcia wzdłuż bazy. Różnice paralaks obliczono względem punktu centralnego. Również dla tego punktu wyznaczono wysokość lotu H na podstawie porównania odcinków na zdjęciu i mapie z błędem względnym 1:700. Na podstawie wyznaczonych w terenie wysokości punktów od 1 do 7 obliczono paralaksy Δ_p z wzoru:

$$\Delta_p = \frac{b \cdot h}{H - h} \quad (10)$$

Uzyskane błędy średnie pomiaru różnic paralaks dla wybranych odcinków zestawiono w tabeli 5.

T a b e l a 5

Wartości błędów średnich pomiarów różnic paralaks $|m \Delta_p|$ w mm dla wybranych odcinków stereopary przedstawionej na ryc. 1.

Odcinek	Błąd średni $m \Delta_p$ (w milimetrach)	
	z diapozytywu	z odbitki stykowej
4 - 1	$\pm 0,32$	$\pm 0,49$
4 - 2	$\pm 0,22$	$\pm 0,66$
4 - 3	$\pm 0,05$	$\pm 0,49$
4 - 5	$\pm 0,31$	$\pm 0,45$
4 - 6	$\pm 0,34$	$\pm 0,45$
4 - 7	$\pm 0,26$	$\pm 0,24$

Z przeprowadzonych badań także na innych stereoparach wynika, że istnieją duże rozbieżności różnic paralaks dla punktów położonych w znacznej odległości od siebie.

Warto zauważyć, że znacznie lepsze wyniki osiąga się przy obserwacjach na diapozytywach, niż na odbitkach stykowych. Przedstawione w tabeli 5 błędy średnie różnic paralaks posiadają pozornie duże wartości. Wynika to ze znacznych odległości między mierzonymi punktami, co wskazuje wyraźnie na brak dokładnej orientacji wzajemnej stereogramu.

Wpływ elementów orientacji wzajemnej na wielkość paralaksy podłużnej wyraża się dość złożonym wzorem: [4.]

$$\begin{aligned} \sigma_p = & \frac{x_L^2}{f} \varphi_{x_L} - \frac{x_L y}{f} \omega_L - \frac{x_p^2}{f} \varphi_{x_p} + \frac{x_p y}{f} \omega_p - \\ & - \frac{x_L}{f} b_z + \frac{\Delta p}{f} b_z \end{aligned} \quad (11)$$

gdzie: x_L, y_L - współrzędne punktu na lewym zdjęciu,
 x_p - współrzędne punktu na prawym zdjęciu,
 $\varphi_{x_L}, \varphi_{x_p}$ - kąty nachylenia podłużnego lewego i prawego zdjęcia,
 ω_L, ω_p - kąty nachylenia poprzecznego lewego i prawego zdjęcia,
 b_z - przewyższenie bazy w skali zdjęcia.

Znając elementy orientacji zdjęć i współrzędne punktów na zdjęciach można obliczyć poprawki do mierzonych paralaks.

Obliczono przykładowo wielkość poprawki (σ_p) paralaksy podłużnej dla danych:

$$\begin{aligned} \varphi_{x_L} = +2^\circ, \quad \omega_L = -1^\circ, \quad \varphi_{x_p} = +1^\circ, \quad \omega_p = -2^\circ \\ b_z = +0,35 \text{ mm} \\ x_L = +25,5 \text{ mm}, \quad x_p = -45,0 \text{ mm}, \quad y_a = +70,0 \text{ mm}, \\ f_k = 210,00 \text{ mm} \end{aligned}$$

W wyniku obliczeń otrzymano $\sigma_p = +0,57 \text{ mm}$.

Natomiast poprawka dla obliczonych różnic paralaks punktów a i b równa się różnicy poprawek paralaks:

$$\tilde{\sigma}_{\Delta p/a-b} = \sigma_{pa} - \sigma_{pb} \quad (12)$$

Z powyższej zależności wynika, że dla różnic paralaks punktów położonych blisko siebie wielkość tej poprawki będzie nieznaczna, a w związku z tym wpływ niezachowania elementów orientacji wzajemnej na dokładność wyznaczenia różnicy paralaks tych punktów jest znikomy. Dla określenia praktycznej dokładności różnicy paralaks wybrano na diapozytywach szereg punktów położonych od siebie w odległości do 100 m o znanych wysokościach terenowych. Wyznaczono dla nich różnice z paralaks pomierzonych śrubą mikrometryczną. Pomiarzy wykonano na 4 zdjęciach tworzących trzy stereopary. Uzyskane błędy $M_{\Delta p}$ wyniosły 0,08 mm, 0,10 mm, 0,11 mm. Średnio można przyjąć, że przy pomiarze śrubą mikrometryczną uzyskuje się błędy różnicy paralaks rzędu 0,1 mm.

Na podstawie przeprowadzonych badań nasuwają się następujące wnioski:

1. Ustawienie zdjęć pod stereoskopem na linii łączącej punkty główne nie jest ścisłe, błędy wynikające stąd mają charakter błędów przypadkowych.
2. Błąd określenia różnic wysokości zależny jest od odległości mierzonych punktów.
3. Błąd określenia różnic paralaks śrubą mikrometryczną osiąga sumaryczną wielkość do 0,1 mm.
4. Wysokości elementów mikrorzeźby terenu określane za pomocą śruby stereomikrometrycznej mogą być wyznaczane z błędem rzędu

$$\frac{1}{700} H$$

L I T E R A T U R A

1. L o b a n o w A.N., 1971, Aerofotopografia, izd. Nedra, Moskwa.
2. S e d y s z e w M.E., 1970, K woprosu opredielenija wysot i bazisow fotografirowanija pri krupnomacsztabnoj eerosjemkie. Naucznyje Trudy Omskogo Sielskochozjajstwiennogo Instituta, 1.66, vyp.2.

3. P i a s e c k i B., 1972, Fotogrametria, PWN.

4. I l i Ń s k i N.D., 1960, Posobije dla wykończenia laboratoryjnych
rabot po aerofctogeodezji, Geodieizdat, Moskwa.

Marek Kowalski, Zbigniew Węgrzyn

THE ACCURACY OF THE MEASUREMENTS OF THE ALTITUDE
DIFFERENCES IN THE RELIEF PHOTOINTERPRETATION

S u m m a r y

In the paper there is shown the accuracy problem of the measurements of altitude differences between land points pictured on air photographs. The studied air photographs are not rectified with a stereomicrometer and the measurements are carried on in the simplified way. The discussed method of measurements, which is reasonable theoretically, allows to work up the microrelief promptly. The microrelief described in such way is necessary for research and engineering purposes, e. g., planning.

The theoretical and practical analysis shows that the accuracy of the stereomicrometrical measurements of the altitude differences on the unrectified air photographs is due to the following factors:

1. the scale and the material type,
2. the components of the stereogram interorientation,
3. the accuracy of the measurements of the parallax p , the base b and the flying height H .

The obtained results confirmed the usefulness of the method. The accuracy of the measured altitude differences is greater than $1/700 H$, even in the unfavourable conditions.