

### DOKŁADNOŚĆ OKREŚLENIA WIELKOŚCI SPADKÓW Z POMIARÓW STEREO MIKROMETRYCZNYCH

Ważnym elementem charakteryzującym w sposób ilościowy rzeźbę terenu jest wielkość spadku. Jednym ze sposobów określenia wielkości spadków — wykorzystując zdjęcia lotnicze — jest obliczenie ich na podstawie pomierzonej różnicy paralaks obszaru dwóch punktów terenowych, długości między nimi oraz bazy fotografowania.

Wielkość spadku wyznacza się ze wzoru:

$$\text{w mierze kątovej — } \operatorname{tg} i = \frac{f \cdot \Delta p}{b \cdot d}, \quad (1)$$

$$\text{w procentach — } i\% = \frac{f \cdot \Delta p}{b \cdot d} \cdot 100\%, \quad (2)$$

gdzie:

- $i$  — wielkość spadku,
- $f$  — ogniskowa kamery,
- $\Delta p$  — różnica paralaks między dwoma punktami,
- $b$  — średnia baza zdjęć stereopary  $b = \frac{b_1 + b_2}{2}$ ,
- $d$  — zredukowana długość linii spadku.

Wzór (1) i (2) jest słuszny dla zdjęć ściśle pionowych. W praktyce najczęściej korzysta się ze zdjęć prawie pionowych. Z uwagi na niewielkie błędy spadków, wynikające z faktu niepionowości oraz różnicy pomiędzy długością zredukowaną i pomierzoną na zdjęciu, wzory te są najczęściej stosowane.

Celem opracowania jest określenie dokładności wyznaczenia wielkości spadków sposobem najczęściej stosowanym w fotointerpretacji rzeźby, tj. na podstawie pomiarów śrubą stereomikrometryczną.

---

\* Dr inż. Zbigniew Węgrzyn, Akademia Rolnicza, Instytut Geodezji, al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków

Według D. A. Janutsza (1967) średni błąd wyznaczenia spadku ( $m_i$ ), wyrażonego w mierze kątowej, określa wzór:

$$m_i = \pm 0,5 \sin 2i \sqrt{\left(\frac{m_{\Delta p}}{\Delta p}\right)^2 + \left(\frac{m_d}{d}\right)^2}, \quad (3)$$

gdzie:

$m_{\Delta p}$  — średni błąd pomiaru paralaks,  
 $m_d$  — średni błąd pomiaru długości.

Natomiast średni błąd określenia spadku wyrażanego w procentach można wyznaczyć z prawa przenoszenia się błędów. Po zróżniczkowaniu i przekształceniach otrzymamy:

$$m_i = i \sqrt{\Delta p^2 m_f^2 + f^2 m_{\Delta_n}^2 + f^2 \Delta_p^2 \left(\frac{m_b}{b}\right)^2 + f^2 \Delta p^2 \left(\frac{m_d}{d}\right)^2}. \quad (4)$$

Wzór (4) jest bardzo skomplikowany. Można zauważyć, że  $m_f$  jako błąd średni wyznaczenia wielkości ogniskowej jest bardzo mały, a wyrażenie  $\Delta p^2 \cdot m_f^2$  ma znikomy wpływ na  $m_i$ , oraz że wielkość  $\frac{m_b}{b}$  jest nieznacząca; dla uproszczenia wielkości te można pominąć.

W związku z tym po wyłączeniu przed nawias  $f^2 \Delta p^2$  otrzymamy ostateczny wzór:

$$m_i = i \sqrt{\left(\frac{m_{\Delta p}}{\Delta p}\right)^2 + \left(\frac{m_d}{d}\right)^2}. \quad (5)$$

W tab. 1 przedstawiono średnie błędy przewidywane dla przyjętych wielkości:  $i$ ,  $\frac{m_{\Delta p}}{\Delta p}$ ,  $\frac{m_d}{d}$ . Z tabeli wynika, że dokładność określenia wielkości spadków sposobem fotogrametrycznym zależy przede wszystkim od błędu względnego różnic paralaks oraz od wielkości spadku.

Tabela 1

Table 1

Zestawienie przewidywanych błędów średnich określenia spadków (w %)  
 Forecast average errors of surface slope denotation (in %)

$\frac{m_{\Delta p}}{\Delta p}$	Spadek (i) (Surface slope i)					
	3%		10%		30%	
	$m_d : d$					
	1/25	1/50	1/25	1/50	1/25	1/50
1/5	0,6%	0,6%	2,0%	2,0%	6,1%	6,0%
1/10	0,3%	0,3%	1,1%	1,0%	3,3%	3,0%
1/25	0,2%	0,1%	0,6%	0,4%	1,8%	1,2%
1/100	0,1%	0,06%	0,4%	0,2%	1,2%	0,7%

W celu określenia praktycznej dokładności wyznaczenia spadków za pomocą stereoskopu ze śrubą stereomikrometryczną na 4 stereoparach pomierzono około 400 spadków o różnych długościach linii spadków. Zdjęcia, na których przeprowadzono pomiary, miały skalę nalotu około 1:4000, wykonane zostały kamerą o ogniskowej 210 mm, z wysokości około 850 m. Analizę przeprowadzono na zdjęciach o silnie zróżnicowanej rzeźbie (różnica wysokości na jednym stereogramie dochodziła nawet do 70 m). Dlatego też podczas pomiaru długości linii spadków na zdjęciach zachodziła konieczność wyznaczenia stref skalowych na podstawie mapy warstwicznej.

Wyznaczając strefy skalowe, przyjęto założenie, że błąd względny długości odcinka z tytułu zmiany skali nie powinien przekraczać 2%  $d$ .

Dla konkretnego przykładu  $m = 4000$  i  $\frac{\Delta d}{d} = \frac{1}{50}$  obliczone  $\Delta m$  ze wzoru:

$$\frac{\Delta d}{d} = \frac{\Delta m}{m} \quad (6)$$

wynosi 80 jednostek, a to odpowiada różnicy wysokości około 16 m. Z mapy warstwicznej przeniesiono na zdjęcia zasięg warstwicy o cięciu  $\Delta h = 25$  m i jako wysokość strefy przyjęto połowę  $\Delta h$ , czyli 12,5 m, co odpowiada różnicy skali około 60 jednostek. Dla środkowej strefy wyznaczono skalę lokalną na podstawie pomierzonych odcinków na mapie i na zdjęciu. Określenie skal pozostałych stref następuje poprzez odjęcie lub dodanie 60 jednostek.

Wyznaczone wielkości spadków z pomierzonych paralaks (bez wprowadzenia poprawek na niepionowość zdjęć) i długości na zdjęciach nie przetworzonych porównano ze spadkami wyznaczonymi z różnic wysokości pomierzonych tachimetrycznie, przyjmując je do analizy jako bezbłędne.

Wielkości błędów ( $m_i$ ) obliczone ze wzoru:

$$m_i = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}} \quad (7)$$

dla spadków w odpowiedniej grupie długości linii i wielkości spadku przedstawiono w tab. 2.

Na wielkość uzyskanych błędów wpływa:

- nieuwzględnienie elementów orientacji wzajemnej stereogramu,
- błąd wynikający z ustawienia zdjęć pod stereoskopem,
- błąd w naprowadzeniu znaczka pomiarowego,
- błędy instrumentalne oraz błędy metody ( $d_{zred} = d$ ).

Spośród wymienionych błędów dwa pierwsze można w pewnym przybliżeniu wyeliminować przez wprowadzenie poprawek paralaks. Naj-

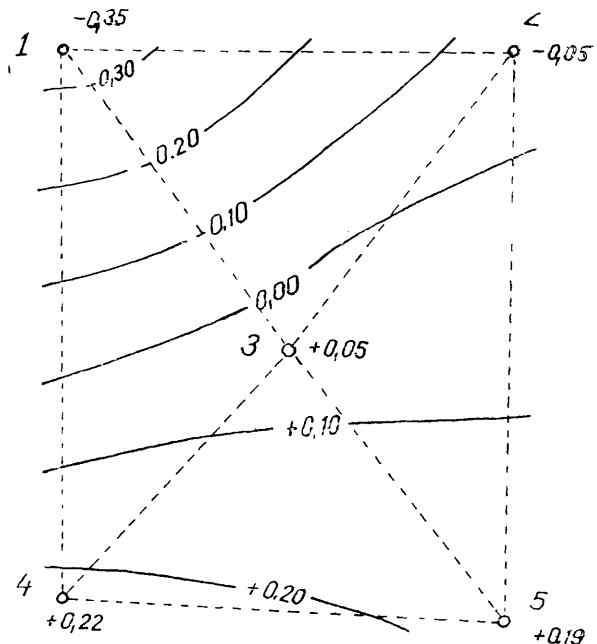
**Zestawienie błędów średnich określenia spadku z pomiarów stereomikrometrycznych**

**Average errors of the surface slope based on stereomicrometric measurements**

Długość linii (Length) [m]	Błąd średni $m_1$ spadku przy jego wielkości [%] (Average error $m_1$ of surface slope with magnitude [%])				
	0—3%	3—6%	6—10%	10—15%	> 15%
do 100	1,4%	1,7%	1,5%	1,6%	2,3%
100—200	2,0%	1,7%	1,8%	1,6%	1,6%
200—300	1,5%	1,1%	1,6%	1,5%	1,4%
300—400	1,4%	1,2%	1,2%	0,9%	0,6%
> 400	1,2%	1,4%	—	—	

prościej można to uczynić przez sprowadzenie mierzonych paralaks pięciu punktów (fotopunktów lub dobrze zidentyfikowanych punktów na mapie wysokościowej i na zdjęciu) do paralaks obliczonych na podstawie ich wysokości przy danych parametrach zdjęć oddzielnie dla każdej stereopary (rys. 1).

Wielkość różnicy paralaks przy znanej różnicy wysokości punktów dla zdjęć ściśle pionowych winna wynosić:



Rys. 1. Krzywe poprawek paralaks

Fig. 1. Curves of the parallax corrections

$$\Delta p = \frac{b \cdot h}{H - h}, \quad (8)$$

gdzie:

- $b$  — baza w skali zdjęcia,  
 $h$  — różnica wysokości fotopunktów lub określona z mapy,  
 $H$  — wysokość lotu.

Poprzez interpolację różnic  $\Delta p$  pomierzonych i  $\Delta p$  obliczonych z fotopunktów lub z mapy otrzymujemy krzywe poprawek paralaks (rys. 1). Na badanym materiale wprowadzono poprawki do pomierzonych paralaks, wyznaczone na podstawie 5 punktów, dla których wysokości określono z mapy. Uzyskane błędy średnie ( $m_i$ ), po wprowadzeniu poprawek paralaks, przedstawiono w tab. 3.

Tabela 3

Table 3

**Zestawienie błędów średnich określenia spadku z pomiarów stereomikrometrycznych po uwzględnieniu poprawek paralaks**

**Average errors of surface slope based on stereomicrometrical measurements with regard to paralaxes corrections**

Długość linii (Length of line) [m]	Błąd średni $m_i$ spadku przy jego wielkości: (Average error $m_i$ of surface slope with its magnitude)				
	0—3%	3—6%	6—10%	10—15%	15%
do 100	1,0%	1,2%	1,1%	1,3%	1,7%
100—200	1,3%	1,2%	1,1%	0,9%	1,1%
200—300	0,5%	0,8%	0,8%	0,9%	0,7%
300—400	0,6%	0,4%	0,4%	0,5%	0,4%
> 400	0,5%	0,5%	—	—	—

Z porównania tab. 2 i 3 wynika, że wprowadzenie poprawek paralaks powoduje zwiększenie dokładności o około 40%.

Na podstawie przeprowadzonej oceny dokładności osiągniętej w określaniu wielkości spadków z pomiarów stereomikrometrycznych można wysnuć następujące wnioski:

1. Dokładność wyznaczenia spadków zależy przede wszystkim od dokładności pomiaru paralaks; wzrasta wraz z długością linii spadku, maleje ze wzrostem wielkości spadku.

2. Osiągane wielkości błędów średnich są większe od przewidywanych.

3. Pomiar paralaks śrubą stereomikrometryczną, jak dowodzą przeprowadzone pomiary, najkorzystniej jest wykonywać stereomikromet-

rem połączonym ze stereoskopem (stereopantometr) przy obserwacji na diapozytywach.

4. Uzyskane dokładności wskazują na możliwość wykorzystania pomiarów stereomikrometrycznych do ilościowej charakterystyki spadków na potrzeby planowania przestrzennego.

#### LITERATURA

Janutcz D. A. 1967: *Vozmożnosti ispolzovanija izmeritelnych svojstv aerosnimkov dla celej dešifrirovaniija*, [w:] *Fizičeskie osnovy i techničeskie sredstva aerometodov*, Akademia Nauk SSSR, Leningrad.

ZBIGNIEW WĘGRZYN

### **PRECISION OF THE SLOPE VALUE DENOTATION BASED ON STEREOMICROMETRICAL MEASUREMENTS**

#### Summary

The paper presents the analysis of the precision of the slope value denotation based on stereomicrometrical measurements. After the short presentation of the factors that determine this precision there were calculated expected average errors of the slope value depending on the relative error of a parallax and the longitude measurement.

The evaluation of precision was based on the measurements of about 400 slopes at 4 stereograms covering the territory of a considerably diversified relief. The calculated values of the slopes were compared to those obtained as result of the field measurements. In order to eliminate an unverticality of airphotos, and to avoid omission of elements of mutual orientation there were made some corrections of the parallaxes, based on the interpolation of the parallaxes, differences from the height of the points determined from the map. The analysis showed that the parallax differences improved precision of the slopes denotation by about 40 per cent.

ZBIGNIEW WĘGRZYN

### **LA PRÉCISION DE L'ÉTABLISSEMENT DE LA GRANDEUR DES CHUTES DES MESURES STÉRÉOMICROMÉTRIQUES**

#### Résumé

Dans cette étude nous avons effectué une analyse pratique de la précision de l'établissement de la grandeur des chutes des mesures stéréomicrométriques. Après une brève exposition des facteurs qui définissent la précision, nous avons

calculé les erreurs moyennes prévues des chutes suivant l'erreur relative de la parallaxe et de la mesure de longueur.

Nous avons présenté l'estimation pratiques de la précision en partant de la mesure de 400 chutes environ sur quatre stéréogrammes dans un terrain au relief fortement accidenté. Nous avons comparé les grandeurs calculées des chutes avec celles qui avaient été obtenues par mesure sur place. Afin d'obtenir une élimination approximative de la non-verticalité des photographies et une non-conservation des éléments d'orientation mutuelle, nous avons introduit des corrections aux parallaxes à partir de l'interpolation des différences de parallaxes déterminées de la hauteur des points définis de par la carte. L'introduction des corrections aux différences de parallaxes, comme l'a démontré l'analyse effectuée, accroît la précision de l'établissement des chutes d'environ 40%.

*Traduit par Michał Michalak*