

# PRILOG ISPITIVANJU POSTOJEĆE TEHNOLOGIJE IZRADE PLANOVA FOTOGRAMETRIJSKOM METODOM

Dušan TOMKOVIĆ, Radinka SAVIĆ — Beograd\*

**RÉSUMÉ** — Ce rapport est relatif aux recherches sur la précision de mesures photogrammétrique de coordonnées.

Le terrain d'une étendu de 200 ha, aux environs de Belgrade, choisi pour les essais, a été couvert par un nouveau réseau trigonométrique de 7 points. Partant de ceux-ci on a déterminé 217 points de comparaison.

La région fut survolé avec les chambre de prise de vues sur film,  $23 \times 23 \text{ cm}^2$  à différentes échelles d'image. (Tab. 4.)

La restitution numérique a été faite sur les appareils Wild A—10 et A—7.

Les tables mentionnées aux paragraphe 5. (5.1—5.4) contiennent la réponse à la première question fondamentale du programme d'essai, à savoir des résultats sur la précision qu'on peut obtenir sur les points aux différents échelles et dans différents conditions de prise de vues.

## 1. UVOD

Da bi fotogrametrija išla u korak sa opštim napretkom ekonomije, i da bi ispunila sve zahteve u pogledu kvaliteta i kvantiteta izrade geodetskih podloga, ona mora i primenjivati nove metode i tehnologije koje omogućuje savremeni razvoj nauke i tehnike.

Polazeći od snimaka visoke geometrijske tačnosti i kvaliteta, preciznih fotogrametrijskih instrumenata i automatizacije, opravdano se postavlja pitanje i primene celishodnijih metoda koje bi, na bazi ovih tehničkih mogućnosti, zadovoljile i sa aspekta ekonomičnosti.

Poslednjih godina došlo je i kod nas do znatnih promena u tehnologiji primene fotogrametrije za krupne razmere. Počela je primena kamera formata  $23 \times 23 \text{ cm}^2$  za aerofotogrametrijska snimanja i one su, zahvaljujući povoljnim ekonomskim efektima, gotovo sasvim, potisnule iz upotrebe kamere drugih formata. Ovome je doprinela i činjenica da su fotomaterijali koji služe kao nosioci emulzije dimenzionalno veoma stabilni. Zatim, primena novih sistema za registrovanje rezultata merenja i njihova analitička obrada znatno su proširili tehničke mogućnosti izrade planova u krupnim razmerama.

\* Adresa autora: Mr. Dušan Tomković dipl. inž., Radinka Savić dipl. inž., Republička Geodetska Uprava SR Srbije, Beograd, Dušanova 1.

U cilju ocene postojećeg procesa izrade planova u krupnim razmerama fotogrametrijskom metodom, Republička geodetska uprava organizovala je u okolini Beograda poligon za ispitivanje. Geodetske i fotogrametrijske radove izvršio je Zavod za geodetske i fotogrametrijske poslove »Geopremer«, u proizvodnim uslovima. Na površini od oko 200 ha, ravničastog terena, određene su koordinate i kote 217 fotosignalisanih kontrolnih tačaka. Sa ovim vrednostima upoređivani su podaci fotogrametrijskih merenja i izvršene su analize dobijenih razlika.

Za izvršena ispitivanja primenjena je fotogrametrija kao numerička i kao grafička metoda, pošto se obe koriste za izradu planova.

## 2. PROGRAM ISPITIVANJA

Programom su obuhvaćena sledeća pitanja:

2.1. Tačnost određivanja koordinata i kota tačaka polazeći od različitih razmera snimaka i raznih kamera za aerosnimanje.

2.2. Tačnost određivanja veznih tačaka iz sitnije razmere snimanja za krupniju razmeru.

2.3. Ispitivanje mogućnosti određivanja visinske predstave fotogrametrijskim putem u ravnim terenima, za razmeru plana 1 : 2500.

## 3. IZVRŠENI RADOVI

### 3.1. Geodetska osnova.

Određivanje koordinata kontrolnih tačaka izvršeno je sa slobodne trigonometrijske mreže. Karakteristike ove mreže date su u tabelama 1.—3.

Tabela 1. — Karakteristike uglovnih merenja

Karakteristika	Vrednost
Metoda merenja: Zatvaranje horizonta	
Instrumentat: Wild T <sub>3</sub> br. 124203	
Broj tačaka	7
Broj merenih uglova	28
Procenat zamenjenih girusa (II—I—4",5	4,1%
Srednja greška ugla merenog u jednom girusu	1".00

Tabela 2. — Karakteristike linearnih merenja

Karakteristika	Vrednost
Instrumentat: Distomat Di 20	
Način merenja strana: napred—nazad	
Broj merenih strana	12
Srednja greška merene strane (određena iz dvostrukih merenja)	8,4 mm
Prosečna razlika napred—nazad	9,0 mm

Za izravnanje trigonometrijske mreže korišćen je koeficijent usaglašavanja uglovnih i linearnih merenja

$$C_h = \frac{m_s^2}{m_\beta^2} = 0.0001199$$

gde je  $m_\beta^2 = 1.44$   
 $m_s^2 = 0.0001726$

Srednja greška merenih strana (iz izravnanja)  $m_{s0} = 13,0$  mm.

Srednja greška merenih uglova (iz izravnanja)  $m_{\beta 0} = 1'.19$ .

Tabela 3. — Srednje greške koordinata trigonometrijskih tačaka (u mm)

Broj tačke	$m_y$	$m_x$	Primedba	Položajne greške
1	5.4	5.9		8.0
2	5.6	8.0		9.7
3	3.3	6.0		6.9
4	4.3	3.5		5.9
5	0.0	0.0	data tačka	0.0
6	2.5	2.4		4.6
7	2.2	4.0		3.5

Kontrolne tačke određene su presecanjem napred, polarnom metodom sa prosečnom tačnošću  $m_p = 25,0$  mm.

Određivanje kota kontrolnih tačaka izvršeno je preciznim nivelmanom.

Stabilizacija kontrolnih tačaka (217) izvršena je metalnim cevima dužine 60 cm, prečnika 5 cm. Fotosignalisane su lesenit tablama kvadratnog oblika bele boje. Dimenzije tabli, koje su postavljene na odstojanju od 50 m, iznose  $30 \times 30$  cm<sup>2</sup>,  $40 \times 40$  cm<sup>2</sup> i  $50 \times 50$  cm<sup>2</sup>.

Za rešavanje pitanja 2.3. na površini od 30 ha urađen je detaljni nivelman.

### 3.2. Aerosnimanje.

Izvršeno je aerosnimanje poligona u šest razmera sa kamerama za film RMK Opton,  $f = 15$  cm,  $f = 21$  cm i  $f = 30$  cm, format  $23 \times 23$  cm<sup>2</sup>.

### 3.3. Restitucija.

Na instrumentima Wild A—10 i A—7, uz upotrebu registratora, izvršena je numerička restitucija svih stereoparova.

Registrovane su koordinate tačaka koje su služile za sračunavanje koeficijenta transformacije, kao i svih fotosignalisanih kontrolnih tačaka. Sve koordinate su očitane, odnosno registrovane dva puta.

Urađena je i grafička restitucija svih određenih tačaka u razmeri plana 1:2500 sa snimaka u razmeri 1:8500 i 1:10 000. Koordinate sa plana kasnije su očitane i upoređene sa vrednostima dobijenim iz terenskih merenja.

Tabela 4.

RMK OPTON m	Razmera snimanja	Broj parova
15/23	1 : 4500	8
	1 : 6500	3
	1 : 8500	2
	1 : 10 000	1
	1 : 15 000	1
	1 : 20 000	1
21/23	1 : 4500	8
	1 : 6500	3
	1 : 8500	2
	1 : 10 000	1
	1 : 15 000	1
30/23	1 : 4500	8
	1 : 6500	2
	1 : 8500	2
	1 : 10 000	1
Ukupno:		44

Pomoću koordinata tačaka određenih iz snimaka razmere 1:15 000 i 1:20 000 (RMK 15/23' orijentisani su parovi u razmeri 1:8500 i 1:10 000 i registrovane su koordinate svih kontrolnih tačaka.

Ove poslove obavljali su restitutori u redovnim smenama, uobičajenim postupcima koji se primenjuju pri izradi planova.

#### 4. OBRADA PODATAKA

Kod analize grešaka fotogrametrijskih merenja ( $V_v$ ,  $V_x$ ,  $V_z$ ) koje su definisane kao razlike geodetskih i fotogrametrijskih koordinata ( $Y$ ,  $X$ ,  $Z$ ), zanemarene su greške koordinata dobijene geodetskim merenjima.

Srednje greške određivanja koordinata i kota kontrolnih tačaka određene su po formuli

$$m_{1.} = \sqrt{\frac{\sum V_i^2}{n}} \quad (4.1)$$

za svaki pojedini par.

Srednje greške određivanja koordinata i kota za pojedine razmere i kamere sračunate su po formuli

$$m_{1..} = \sqrt{\frac{\sum f_i m_{1.i}}{\sum f_i}} \quad (4.2)$$

gdje je  $f_i$  — broj stepena slobode.

Određene su srednje greške koordinata i kota za svaki par po formuli

$$m_{2.} = \sqrt{\frac{\sum (V_i - \bar{V})^2}{n - 1}} \quad (4.3)$$

gde je  $\bar{V} = \frac{\sum V_i}{n}$ .

Srednje greške  $m_{2..}$  za pojedine razmere i kamere sračunate su po formuli 4.2.

Srednje greške poentiranja sračunate su po formuli

$$m_{0.} = \sqrt{\frac{1}{2n} \sum d_i^2} \quad (4.4)$$

gdje je  $d_i$  razlika drugog i prvog poentiranja.

## 5. REZULTATI

Ovde su analizirani podaci dobijeni numeričkom restitucijom.

Navedene tabele daju odgovor na prvo pitanje (2.1) programa za ispitivanje, odnosno kakva se tačnost postiže u određivanju koordinata i kota pri različitim razmerama snimanja i sa raznim kamerama. Treba napomenuti da broj restitucija nije jednak za sve kamere i da su merenja vršili razni restitutori u smenama.

U tabeli 5.1 prikazane su greške određivanja koordinata kontrolnih tačaka iz jednog poentiranja i iz srednje vrednosti dvostrukog poentiranja (u jednom i suprotnom smeru). Uočava se minimalno povećanje tačnosti kod dvostrukog poentiranja.

Tabela 5.1. — Srednje greške određivanja koordinata i kota kontrolnih tačaka — po razmerama i kamerama (u cm)

Razmera	RMK	Broj mjerjenja	Iz jednog poentiranja			Iz sredine dva poentiranja		
			$m_{ly}$	$m_{lx}$	$m_{lz}$	$m_{2y}$	$m_{2x}$	$m_{2z}$
1 : 4500	15/23	309	9.8	14.5	12.5	10.2	14.3	12.0
	21/23	292	9.3	12.3	13.1	8.5	12.0	10.6
	30/23	340	8.0	10.5	13.3	8.1	10.7	12.6
1 : 6500	15/23	500	12.2	15.4	19.8	11.9	15.6	17.0
	21/23	274	10.0	13.3	18.9	9.4	12.9	18.3
	30/23	215	11.2	11.2	23.0	10.7	11.1	22.7
1 : 8500	15/23	500	10.2	12.1	17.4	9.8	11.8	14.4
	21/23	1649	12.3	14.0	21.0	12.2	13.8	19.4
	30/23	214	14.0	13.3	24.2	15.6	13.9	24.6
1 : 10 000	15/23	420	13.8	16.0	20.9	14.9	19.6	20.0
	21/23	417	14.9	17.8	32.4	17.4	16.6	24.0
	30/23	200	18.8	15.7	20.4	22.4	16.2	22.7
1 : 15 000	15/23	404	17.1	18.2	32.0	15.5	15.9	32.8
	21/23	204	21.4	24.9	23.9	20.2	24.2	18.3
1 : 20 000	15/23	217	22.7	35.9	38.2	19.6	35.3	35.3

Tabela 5.2. — Srednje greške određivanja koordinata i kota kontrolnih tačaka  
— po razmerama i kamerama (u cm)

Razmera	RMK	Broj merenja	$m_{1x}$	$m_{1y}$	$m_{1P}$	$m_{1z}$	$m_{2y}$	$m_{2x}$	$m_{2P}$	$m_{2z}$
1 : 4500	15/23	309	10.2	14.3	17.6	12.0	8.6	11.0	14.0	8.4
	21/23	292	8.5	12.0	14.7	10.6	7.9	10.8	13.4	8.3
	30/23	340	8.1	10.7	13.4	12.6	7.5	10.0	12.5	10.3
1 : 6500	15/23	500	11.9	15.6	19.6	17.0	9.5	11.5	14.9	13.1
	21/23	274	9.4	12.9	16.0	18.3	9.0	11.3	14.4	15.0
	30/23	215	10.7	11.1	15.4	22.7	10.2	10.7	15.5	12.7
1 : 8500	15/23	500	9.8	11.8	15.3	14.4	9.4	11.7	15.0	13.3
	21/23	1649	12.2	13.8	18.4	19.4	8.6	12.8	15.4	14.8
	30/23	214	15.6	13.9	20.9	24.6	11.3	12.2	16.6	16.7
1 : 10 000	15/23	420	14.9	19.6	24.6	20.0	11.9	14.4	18.7	16.1
	21/23	417	17.4	16.6	22.7	24.0	10.3	14.0	17.4	17.6
	30/23	200	22.4	16.2	27.6	22.7	13.1	14.1	19.2	13.6
1 : 15 000	15/23	404	15.5	15.9	22.2	32.8	14.2	13.8	19.7	15.6
	21/23	204	20.2	24.2	31.5	18.3	20.0	20.0	28.3	17.2
1 : 20 000	15/23	217	19.6	35.3	40.4	35.3	18.7	21.1	28.2	33.5

U tabeli 5.2 date su srednje greške određivanja koordinata i kota kontrolnih tačaka  $m_1$  i  $m_2$  u cm, dok su u tabeli 5.3 izložene srednje greške po položaju ( $m_p$ ) i po visini ( $m_z$ ), u mikronima u razmeri snimka.

U tabeli 5.4 dat je prikaz srednjih grešaka poentiranja, transformacije ( $m$ ), koordinata i kota po kamerama u mikronima u razmeri snimka.

Srednja greška poentiranja je velika, čemu je, uglavnom, uzrok neadekvatna veličina fotosignala, kao i atmosferski uslovi snimanja.

Srednje greške koordinata ( $y$ ,  $x$ ) nisu značajno različite, dok srednje greške visina ukazuju da je znatno veća tačnost postignuta kamerom 15/23 što je u saglasnosti sa teorijskim razmatranjima.

## 6. ZAKLJUČAK

Ako se rezultati ovog eksperimenta uporede sa ranijim ispitivanjima koja su vršena kod nas 1. (1955), 4. (1968) može se konstatovati da je postignuta veća tačnost određivanja koordinata što je posledica primene savremenijeg pribora i tehnologije.

Međutim, iz upoređenja sa 2. proizilazi da je tačnost određivanja po položaju manja nego u drugim zemljama, dok je kod nas postignuta veća tačnost određivanja visina.

Tabela 5.3. — Srednje greške određivanja kontrolnih tačaka po položaju i po visini (u mikronima u razmeri snimka)

Razmera	RMK	Broj merenja	$m_{1p}$	$m_{1z}$	$m_{p2}$	$m_{2z}$
1 : 4500	15/23	309	39	27	31	19
	21/23	292	33	24	30	18
	30/23	340	30	28	28	23
1 : 6500	15/23	500	30	26	23	20
	21/23	274	25	28	22	23
	30/23	215	24	35	24	20
1 : 8500	15/23	500	18	17	18	16
	21/23	1649	22	23	18	17
	30/23	214	25	29	20	20
1 : 10 000	15/23	420	25	20	19	16
	21/23	417	23	24	17	18
	30/23	200	28	23	19	14
1 : 15 000	15/23	404	15	22	13	10
	21/23	204	21	12	19	11
1 : 20 000	15/23	217	20	18	14	17

Određivanje koordinata je veoma kompleksan postupak koji se sastoji od niza operacija i zato na tačnost određivanja utiče niz elemenata konstantnog ili promenljivog karaktera (fotosegnalizacija, uslovi snimanja, stereo-instrumenti, dijapozitivi, relativna i apsolutna orijentacija, restitutori, fotogrametrijsko merenje i registrovanje).

Tabela 5.4.

RMK	15/23	21/23	30/23
Broj restitucija	23	28	13
Položajne greške — u mikronima u razmeri snimka			
$m_o$	11	13	10
$m_t$	13	13	13
$m_{1p}$	25	25	27
$m_{2p}$	20	21	23
$m_z$ u mikronima u razmeri snimka			
$m_o$	13	16	13
$m_{1z}$	22	24	22
$m_{2z}$	16	17	29

