

## PRIMJENA ŠIROKOKUTNIH SNIMAKA U AEROFOTOGRAMetriJI

Prijeratna fotogrametrija bavila se je gotovo isključivo problemom izrade karata sitnijeg mjerala (1 : 50 000 — 1 : 5.000), i to radi toga što instrumentalna tehnika kako u mehaničkom tako i u optičkom pogledu nije bila u stanju da pruži potrebnu točnost i za krupnija mjerila. Stoga su se nekada snimanja vršila u prilično nepovoljnom odnosu  $M_s : M_k$ . To su uglavnom uvjetovala dva razloga: 1) niska kvaliteta prijeratne optike i 2) ograničene visine lijeta (niski plafon aviona za snimanje). Naročito je ovaj posljednji razlog i težnja da se jednim snimkom zahvati što veća površina terena, uvjetovao primjenu širokokutnih snimaka. (Kao primjer navest ću Zeiss-ovu kameru RMK P10 18 × 18 s Topogonom f 10 cm, RMK20) 30 × 30 s Topogonom f 20 cm). Snimci takvih ili sličnih kamera uglavnom su se upotrebljavali za izradu ili reambulaciju karata sitnog mjerila, izradu fotomozaika ili fotoplana te izviđačke svrhe. Osim relativno niske razlučujuće moći nekadašnji su širokokutni objektivi bili opterećeni s relativno velikom pogreškom distorzije i jakim opadom svjetlosti u uglovima snimka.

Poslijeratni razvoj na području optike jako je napredovao, tako da danas imamo na raspolaganju niz kvalitetnih širokokutnih objektivna (u najnovije vrijeme i ultraširokokutnih objektivna, koji su uz posebni instrumentarij namjenjeni za fotogrametriju u privredno nerazvijenim zemljama). S druge strane visoka preciznost novih instrumenata za restituciju pružila je mogućnost da fotogrametrija proširi svoju djelatnost i na izradu planova krupnih mjerila (1 : 1.000, 1 : 500).

Usljed gore spomenutog imamo danas mnogo povoljnije odnose između mjerila snimanja ( $M_s$ ) i mjerila kartiranja ( $M_k$ ). Time se zahvaća mnogo veća površina terena, što znatno podiže ekonomičnost. Baš iz toga razloga u novije vrijeme se sve više primjenjuju za snimanje širokokutni snimci (neke firme forsiraju konvergentne snimke). Međutim pri tom se često ne vodi dovoljno računa o nekim nedostacima širokokutnih objektivna, koji leže u samoj njihovoj biti, a u zavisnosti od mjerila snimanja i oblika terena čine nam veće ili manje smetnje, te se njihova primjena forsira svuda, pa i na područjima za koja oni nisu prikladni. Uzet ću kao primjer mnoga takva snimanja koja su u Švicarskoj izvršena u svrhu



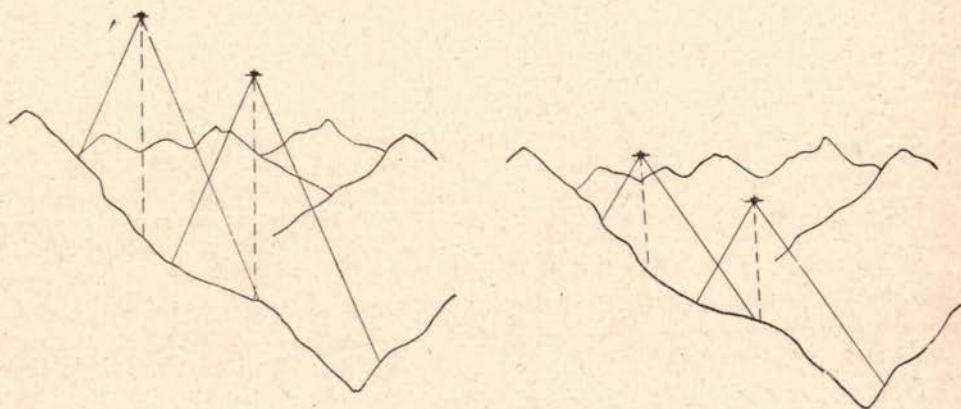
izrada privremenih katastarskih planova (mjerila 1:1000) alpskih predjela za komasacione potrebe.

Poznata je činjenica da se orijentacije fotogramterijskih snimaka počinju komplicirati tamo gdje počinju i brda. Velike visinske razlike terena stvaraju sasvim drugačije odnose od onih koji se pojavljuju u ravnim ili valovitim terenima. To naročito dolazi do izražaja kod restitucije u krupnom mjerilu. Ako su pri tom upotrebljeni širokokutni snimci onda ti odnosi postaju takvi da stvaraju čitav niz problema i poteškoća već od samog početka, a to je aerosnimanje.

Snimanja navedenih predjela izvršena su kamerom Wild RC7a sa objektivom Aviogonom f 10 cm u približnom mjerilu 1:10.000. To daje visinu lijeta aviona cca 1.000 m od srednje visine terena u nizu. Tereni koji su snimljeni u području Alpa predstavljaju padine dolina koje se često uvlače u planinske masive sa nadmorskim visinama između 2—3.000 m. Snimani tereni najčešće se nalaze na visini između 800 i 1.500 m. U takvim okolnostima nadmorska visina lijeta aviona kreće se između 2—2.500 m. Kako se radi o relativno uskim dolinama, to uvlačenje aviona u sferu koja je u razini ili još niža od okolnih vrhunaca ne samo da predstavlja opasnost za avion i posadu, već su u tim visinama i najnepovoljnije atmosferske prilike. Avion se često susreće sa vrlo različitim bočnim i vertikalnim zračnim strujanjima, koja znatno otežavaju održavanje elemenata aerosnimanja. Onda nije nikakvo čudo što se plan snimanja teško ostvaruje, što su potrebna česta ponavljanja, a da pri tom ipak na koncu dobijemo snimke čiji elementi prilično variraju.

Snimanje navedenih terena s normalnokutnom kamerom dalo bi za navedene slučajeve visinu lijeta aviona od cca 2.100 m od srednje visine terena u nizu (Aviotar f 21/19×18 cm). Apsolutna visina kretala bi se u tom slučaju između 3—3.500 m, što je dakako mnogo povoljnije (sl. 1).

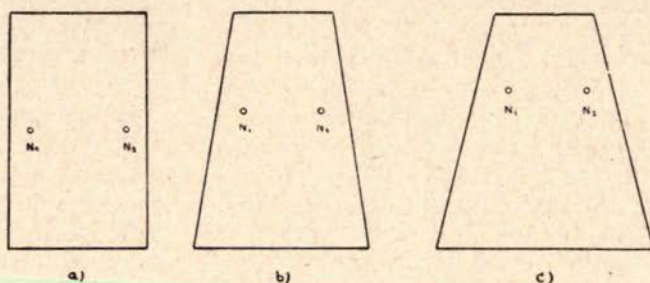
Tu visinu lako ostvaruju i lakši avioni, a također nije još potrebna ni upotreba aparata za disanje.



Sl. 1



Izrazimo li visinsku razliku terena u  $\%$  visine aviona od srednje razine terena ( $h_g$ ), dobijemo za navedene slučajeve: za širokokutnu kameru iznaša  $50\%$   $h_g$ , za normalnokutnu kameru  $25\%$   $h_g$ . Kakav to pak ima utjecaj na oblik modela najbolje će nam ilustrirati sl. 2.



Sl. 2

- oblik modela u ravničastom terenu
- oblik modela normalnokutnih snimaka u brdovitom terenu
- oblik modela širokokutnih snimaka u brdovitom terenu.

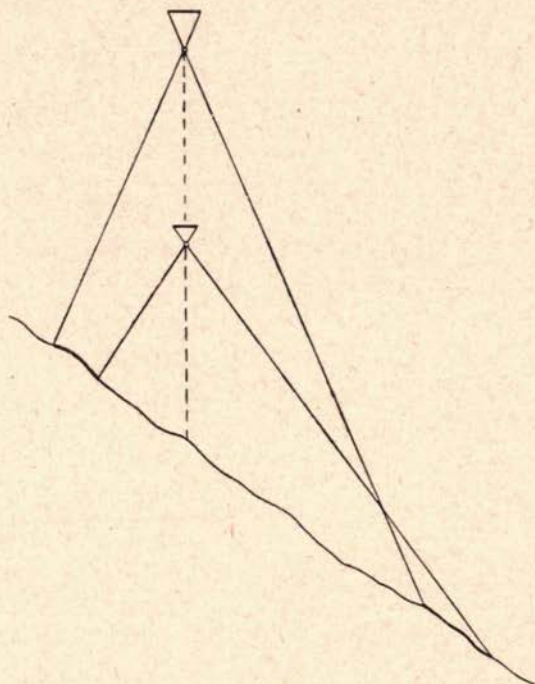
Kako bi se kod upotrebe širokokutnih objektivna osiguralo minimum od  $50\%$  preklopa u gornjem dijelu terena, to preklapanje u području baze mora iznašati  $70\%$ , dok će u donjem dijelu iznašati i preko  $80\%$ . Takvo povećano preklapanje smanjuje bazisni odnos koji se kod širokokutnih snimanja u ravničastim terenima kreće oko  $1:1,7$  na veličinu  $1:1,8$  u gornjim dijelu,  $1:2,3$  u području baze i  $1:4$  u donjem dijelu modela. Dakle, točnost mjerenja visina obzirom na bazisni odnos smanjuje se na veličinu koja je približno jednaka kao kod normalnokutnih snimaka. Kako međutim visinska pogreška kod širokokutnih snimaka ima daleko veći utjecaj na položajnu pogrešku nego kod normalnokutnih snimaka, vidimo da smo onda i tu na gubitku. Osim toga točnost mjerenja bitno se razlikuje za gornji i donji dio modela, tako da planovi istog modela neće u pogledu točnosti biti ujednačeni.

Ako usporedimo utjecaj nagiba terena s velikim visinskim razlikama kod normalnokutne kamere ( $f = 21/18 \times 18$  cm) i širokokutne kamere ( $f = 10,3/15 \times 15$  cm), što je prikazano na sl. 3, vidimo, da kod širokokutnih snimaka nastaje veliki gubitak terena u gornjem dijelu, dakle u pogledu perspektive, mjerila snimanja i bazisnog odnosa, najpovoljnijem dijelu, dok zbog istih momenata dobitak u donjem dijelu ostaje praktički bez vrijednosti. Iz toga proizlazi da je efektivna širina niza kod snimanja s normalnokutnom kamerom veća nego kod snimanja sa širokokutnom kamerom.

Poteškoće nastupaju i u daljoj fazi rada, prigodom identifikacije snimaka na terenu. Nepovoljna perspektiva izvan središta snimaka, a naročito u donjem dijelu snimka, te vrlo različito mjerilo diljem snimka, znatno otežavaju identifikaciju, te veliki postotak točaka ostaje neiden-

tificiran (veliki mrtvi uglovi uz rubove šuma, drveća, potpornih zidova, kuća i drugih objekata).

Poteškoće međutim nastupaju i prigodom restitucije, točnije rečeno prigodom relativne i apsolutne orijentacije. Primjera radi, donasam



Sl. 3

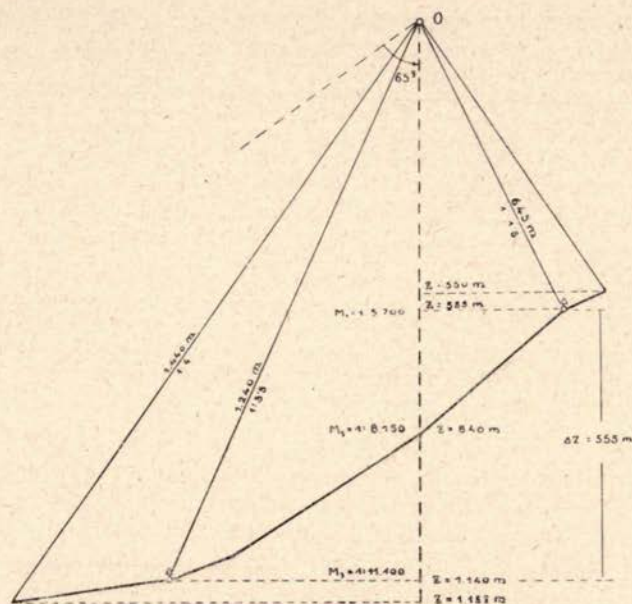
jedan prosječan karakterističan profil i oblik modela, kako bi pružio zornu predodžbu o odnosima koji nastupaju u takvim slučajevima (sl. 4.).

Visinska razlika između dviju trig. točaka iznaša 563 m. Mjerilo snimanja varira od 1 : 5.700 do preko 1 : 11.100. Duljina zrake za donji dio terena duža je za oko dva puta nego za gornji dio, a nije rijedak slučaj kad je i 2,5 puta duža. Uslijed toga bit će za gornji i donji dio modela i bitno različit utjecaj rest-pogrešaka distorzije, refrakcije, rest-pogrešaka u elementima relativne orijentacije i instrumentalnih pogrešaka, a to će se odraziti direktno u obliku deformacije modela.

Pri relativnoj i apsolutnoj orijentaciji nailazit ćemo na poteškoće, budući da nemamo više odnose koji su svojstveni vertikalnim aerosnimmcima približno horizontalnog terena. Povučemo li iz objektiva 0 paralelu s padinom terena, to će ona s optičkom osi zatvarati kut od približno 65g. Dakle imati ćemo odnose kao da raspolažemo s kosim aerosnimmcima, ili ako zamislimo da je optička os horizontalna, imat ćemo odnose kao



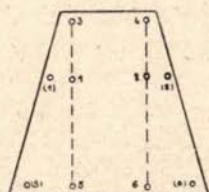
kod horizontalnih terestričkih snimaka, pa se prigodom orijentacija treba time i rukovoditi [1].



Sl. 4

Iz sl. 5 vidimo da se model već u srednjem dijelu, a pogotovo u donjem dijelu proteže znatno izvan nadirnih profila. Kako se u tim dijelovima često nalaze orijentacione točke to se prigodom relativne orijentacije mora voditi računa i o tim dijelovima modela.

Ako analiziramo utjecaj pojedinih elemenata relativne orijentacije na transversalne paralakse diljem modela vidimo:



Sl. 5

1) Element  $\gamma$ : Uslijed smanjenog bazisnog odnosa, da se zadovolji 60%-tno preklapanje u gornjem dijelu modela stereopolje se u području baze proteže i izvan točkaka 1 i 2. Stoga se uklanjanjem y-paralaksa u točkama 1 i 2 elementi  $\gamma''\gamma'$ (by) ne određuju s dovoljnom točnošću, pa ih se potom mora kontrolirati i u točkama (1) i (2).

2) Element  $\varphi$ : Kako je za donji dio modela najnepovoljniji bazisni odnos, te su zrake približno paralelne, to za određivanje elementa  $\varphi$  dolazi u obzir samo gornji dio modela, dakle točke 3 i 4.

3) Element  $b_z$ : Ukoliko se radi relativna orijentacija priključenog stereopara, umjesto kutnog elementa  $\varphi$  koristi se linearni element  $b_z$  priključenog snimka, pa se isti određuje uklanjanjem py-paralaksa također u gornjem dijelu modela.

4) Element  $\omega$ : Kako su zrake najduže za donji dio modela to će tu najjače djelovati na transversalnu-paralaksu element  $\omega$ , pa se za njegovo određivanje koristi područje između točaka 5 i 6.

Prema tome relativnu orijentaciju treba početi uklanjanjem py-paralaksa u točkama 2 i 1 s elementima  $\chi'$ ,  $\chi''$  (by''), nakon toga u točkama 4 i 3 sa  $\varphi'$ ,  $\omega''$  (odnosno kod priključka s  $b_z$  priključnog projektor). Prokorekturu sa  $\omega$  vršimo u području između točaka 5 i 6. Za određivanje faktora prekorekture vrlo je prikladna grafička metoda profesora Kaspera.

Valja napomenuti da kod veće vrijednosti  $\omega$  promjene elemenata  $\varphi$  ( $b_z$ ) izazivaju paralakse u glavnim točkama 1 i 2, te se iste moraju ponovo uklanjati odgovarajućim elementima postepenim približavanjem.

Ako se nakon uklonjenih vertikalparalaksa unutar nadirnih profila pronade u točkama (5) ili (6) py-paralaksa, to znači da ona može potjecati samo od pogrešaka elemenata  $\chi$  i  $\varphi$ , pa moramo prvo ponovo prekontrolirati područje baze (točke (1) i (2)). Kako je x-udaljenost u gornjem dijelu modela malena, to se tu ne će osjetiti male pogreške u elementima  $\chi$ , dok će one doći do svog izražaja u točkama (5) i (6), radi veće (čak i dvostruko veće) x-udaljenosti. Nakon dotjeranog određivanja elemenata  $\chi$ , dok će one doći do svog izražaja u točkama (5) i (6), radi mnogo veće (čak i dvostruko veće) x-udaljenosti. Nakon dotjeranog određivanja elementa  $\chi$  preostaje još ponovno korigiranje  $\varphi$ -ova u gornjem dijelu, te njihovo kontroliranje u točkama (5) i (6). U tim točkama naročito dolazi do izražaja razlika  $\varphi_1 - \varphi_2$ , dakle pogreška konvergencije  $\gamma$ .

Relativnu orijentaciju moramo izvršiti naročito precizno, jer se kod navedenih oblika pogreške uslijed deformacije modela ne uočuju u pogreškama visina, nego jedino u neslaganju mjerila u gornjem i donjem dijelu kao direktna posljedica rest-pogrešaka u elementima  $\chi$  i  $\varphi$ .

Ako imamo na raspolaganju 4 orijentacione točke, u svakom uglu po jednu (kao što je to najčešći slučaj), onda će visinske pogreške za obje gornje odnosno donje točke uslijed pogreške konvergencije biti jednake, te su zato neuočljive. Ništa ne mijenja na stvari ako nam stoji na raspolaganju i po koja točka unutar modela. Ima modela u kojima se promjena konvergencije za 3' uopće ne odražuje na py-paralaksama, ali će nam ista prouzrokovati pogrešku u dužinama između gornjeg i donjeg para orijentacionih točaka i do 1 metra (što je kod planova u mjerilu 1 : 1.000 pogreška od 1 mm!). Ista konvergencija prouzrokovat će promjenu visinskih razlika za gornji i donji par točaka, što znade zahtijevati promjenu  $\Omega$  za navedene okolnosti i do 7'.



Ukoliko se možemo pouzdati u točnost orijentacionih i trigonometrijskih točaka, najbolje je da se pogreška konvergencije odredi na temelju neslaganja između gornje i donje dužine po formuli [2]:

$$d\gamma^c = \frac{(dM_{3-4} - dM_{5-6})b}{h_{m_{3-4}} - h_{m_{5-6}}} \cdot q^c - \frac{b}{1000} \dots (275)$$

gdje je  $h_m$  aritmetička sredina od visina krajeva dužine, a indeksi se odnose na sl. 5. Pomoću te formule odredi se pogreška konvergencije, koja se nanese s protivnim predznakom. Ako se s tim iznosom uvedu u model transversalne paralakse u prevelikom iznosu onda se nesuglasca u mjerilu za gornji i donji pojas djelomično pripiše pogrešci konvergencije, a djelomično pogrešci zakošenja, i to po formulama:

$$\begin{aligned} (h_{3-4} - h_{5-6}) \frac{z}{b^2} dp_y + \operatorname{sgn}(h_{5-6} - h_{3-4}) \frac{y_{3-4} - y_{5-6}}{b} \sqrt{\frac{2}{3}} dp_y = \\ = b(dM_{3-4} - dM_{5-6}) \text{ odnosno } = \frac{4b\Delta h_{1-2}}{h_{3-4} - h_{5-6}} \dots (406) \end{aligned}$$

$$d\gamma = \frac{z}{b^2} dp_y \dots (407) \quad d\Delta\alpha = \operatorname{sgn}(h_{5-6} - h_{3-4}) \sqrt{\frac{2}{3}} \frac{dp_y}{b} \dots (408)$$

$\operatorname{sgn}(h_{5-6} - h_{3-4})$  znači predznak od  $(h_{5-6} - h_{3-4})$ , a  $\Delta h_{1-2}$  je odstupanje interpolirane visine između mjerenih točaka 3—4 i 5—6 prema mjerenim visinama točaka 1—2. Prema formuli (406) odredi se  $d_p$  i uvrsti u formule (407) i (408), te tako dobiju pogreške  $d\gamma$  i  $d\Delta\alpha$ , koje se protivnim predznakom nanese kao popravke. Kod navedenih formula  $z$  se uzima uvijek kao negativno, očitava na  $z$ -skali i množi s brojem mjerila modela.  $b$  je baza u naravi tj. očitavanje  $b_x$  m. Za autografe bit će  $\Delta\alpha = \alpha$  desno  $-\alpha$  lijevo i  $\gamma = \varphi$  desno  $-\varphi$  lijevo, pri čem se desno i lijevo odnosi na idejno desni i lijevi snimak.

Apsolutnu orijentaciju nije dakle uopće moguće izvršiti bez minimum 4 orijentacione točke, raspoređene u uglovima modela, a da pri tom još uvijek nemamo prekobrojnih podataka, kako bi se mogli osigurati od eventualnih pogrešaka u nesigurnosti identifikacije, bilo uslijed pogrešaka u koordinatama ili visinama. Ove pak pogreške ne moraju potjecati od lošeg određivanja, već su često prouzrokovane klizanjem terena, a to nije rijedak slučaj, jer je određivanje triangulacije za navedena izvršeno pred 35 godina, a mnogi tereni nisu stabilni.

Ovakve apsolutne orijentacije, koje često zahtijevaju promjenu elemenata relativne orijentacije, vrlo su mukotrpne i iziskuju mnogo vremena, budući da jedna promjena povlači za sobom drugu i tako redom, a da na koncu još uvijek nismo sigurni ne leži li uzrok neslaganja u nečem drugom, pa model umjetnim deformiranjem ne prisiljavamo da se složi s nekom pogrešnom točkom. Najbolje bi bilo kad bi nam stajale na raspolaganju još dvije tačke poprilično u sredini modela nešto ispod

nadirnih tačaka, ali to bi značilo daljnje povećavanje već i onako povećanog broja orijentacionih tačaka u gornjem dijelu niza, uzrokovanog suženjem modela.

Na temelju svega iznesenog možemo stvoriti zaključak, da je apsolutno potrebno odbaciti snimanje planinskih predjela s širokokutnim objektivima, a primjeniti ih jedino kao nužno zlo kod snimanja takvih predjela za sitnu razmjernu, kad radi velikih visina uslijed niskog plafona aviona nismo u stanju da postignemo potrebnu visinu za normalnokutnu kameru.

#### LITERATURA

- [1] Pr. Dr. K. Schwidofsky: Grundriss der Photogrammetrie (1954.)
- [2] Pr. Dr. Ing. F. Braum: Doktorska disertacija.