

# MOGUĆNOSTI ZA BITNO USAVRŠAVANJE FOTOGRAMetriJE I MJerNE FOTOINTERPREtACIJE STEREOORTOFOTOSISTEMOM

Zdenko TOMAŠEGOVIĆ — Zagreb

Diferencijalnim se redresiranjem ostvaruje transformacija centralne projekcije pojedinačnih aerosnimaka u ortogonalnu. Tom tehnikom izrađeni ortofotosnimci, dotično ortofotoplanovi (ili ortofotokarte), omogućuju opservatoru samo dvodimenzionalnu percepciju. Zbog primjene kompleksne instrumentalne tehnike, pri diferencijalnom redresiranju formiraju se katkada mjestimično i dvostruke slike te time daju rezultate manjih slikovnih kvaliteta nego li sistem redresiranja čitavog polja snimka odjednom.

Ako su korisnicima rezultata fotogrametrije i fotointerpretacije potrebne detaljnije informacije o topografskim i netopografskim značajkama nekog prostora morat će pribjeći metodama stereofotogrametrije (stereofotointerpretacije) jer tu stoji na raspoloženju najvrednije sredstvo fotogrametrije, a to je trodimenzionalni optički stereomodel koji omogućuje pouzdanu interpretaciju i mjerenja preslikanih zemljišnih i ostalih objekata. Da se u tom smislu iskoriste i ortofotosnimci mnogo su doprinijeli *Dr. T. J. Blachut* (vođa stručnjak kanadskog National Research Council) i njegov kolega *S. H. Collins*.

Pri izradi karte fotogrametrijskom metodom, koja će služiti stručnjacima raznih struka, optički je model trodimenzionalno, sa svim finesama, doživio samo restitutor i to — što se mora naglasiti — na vrlo skupocjenim kompleksnim stereoinstrumentima koji uključuju često i kompleksne, relativno dugotrajne metode restitucije. Korisnik dobiva u ruke samo signaturni crtež t. j. pojednostavljeni dvodimenzionalni derivat onog vrijednog sredstva koji se zove trodimenzionalni optički stereomodel. Te metode i instrumenti su pristupačni samo vrlo malom broju fotogrametrijskih stručnjaka, a ne zastupnicima sve većeg broja znanstvenih i stručnih područja koja su upućena na upotrebu aerosnimaka.

Sadašnja mjerenja, kartiranja i interpretacije mnogih stručnjaka (geografi, geolozi, pedolozi, šumari, agronomi, inženjeri) diljem svijeta ostaju neiskorišćene za opće državne kartografske ciljeve, jer se prečesto u svojim, možda i opsežnim radovima služe primitivnijim instrumentarijem, sredstvima ili metodama.

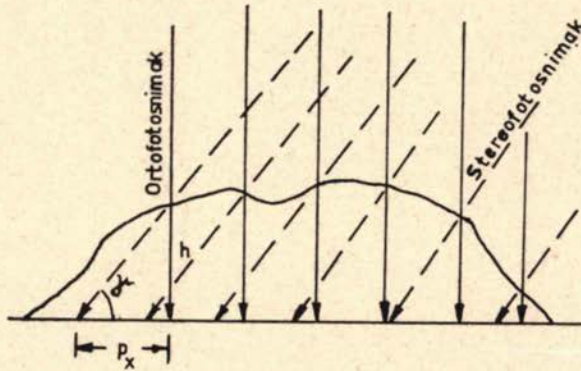
Situacija je teška u mnogim zemljama koje se nalaze u svom razvoju gdje se dosadašnje fotogrametrijske metode s pravom za tamošnje prilike smatraju suviše skupim za katastarske izmjere pa se događa da iz očaja neki stručnjaci iz te grupe zemalja predlažu mozaike neredresiranih aerosnimaka kao katastarske podloge.

Prema članku *Dr. T. J. Blachut*: »Das Stereorthophotosystem, eine neue Lösung auf dem Gebiete der Kartierung und Photointerpretation«, *Vermessung Photogrammetrie Kulturtechnik* 1-72, str. 1-13.

Adresa autora: Dr Zdenko Tomašegović — Sumarski fakultet Zagreb, Simunska 25

## II

Ortofotosnimci pružaju mogućnost da se spomenute slabe strane sadašnje situacije na području fotogrametrijske tehnike uvelike uklone tako, da bi se aerosnimci mogli iskoristiti na jednostavan i univerzalniji način s time da ortofotosnimci omoguće kako stereoskopsku percepciju zemljišta i objekata na njemu tako i jednoznačnu i na jednostavan način izvedivu izmjeru svih triju koordinata povoljnih točaka i objekata na zemljištu.



Slika 1. Osnovni geometrijski odnosi pri izradi ortofotostereograma

Izrade li se diferencijalnim redresiranjem ortofotosnimci lijevog i desnog parcijalnog aerosnimka jednog te istog stereopara predležat će — zanemari-vanjem položajnih pogrešaka koje nastaju pri tom redresiranju, te preslika-vanju vertikalnih objekata — dvije geometrijski identične slike (ortofoto-snimci) Zemljine površine. Stereoskopskim promatranjem dolazimo do pot-puno horizontalnog modela bez obzira na postojeći faktučni reljef fizičke površine Zemlje. Takav stereopar je nakon jednostavne međusobne orijen-tacije parcijalnih snimaka slobodan od »y« — paralaksa. A to je jedno od bitnih svojstava stereoortofotopara. Znači da bi stereoskopsko promatranje i stereoskopska izmjera takvog stereopara bila vrlo jednostavna. Ortofoto-snimku lijevog snimka mogli bismo pridružiti prikladno povećani desni neredresirani aerosnimak. No takav par dovodi do y — paralaksa koje bi naročito pri terenskoj fotointerpretaciji u danim uvjetima začile smetnju u radu.

Da bi došli do jednoznačnog trodimenzionalnog stereomodela slobodnog od y — paralaksa bilo bi nužno i dovoljno svakoj točki dotičnog prostora dodijeliti umjetno izazvanu paralaksu  $p_x$  proporcionalnu visinskoj razlici između dotične točke i odabrane referentne ravnine. To znači da bi sve točke — na primjer — desnog ortofotosnimka u smjeru slikovne osi  $x$  trebalo pomaknuti za iznos

$$p_x = \text{ctg} \gamma \cdot h = ch \dots \dots \dots 1.)$$

Pri tome se konstanta  $c = \text{ctg} \gamma$  može proizvoljno odabrati. Možemo ustvr-diti — da je takav desni fotosnimak s umjetno izazvanim paralaksama —

tzv. »stereo-mate« — kosa projekcija orijentiranog stereomodela na odabranu referentnu ravninu. Centar projekcije pokrenuo se iz konačnosti u beskonačnost. Kose međusobno paralelne zrake projiciranja leže u odgovarajućim međusobno usporednim ravninama ( $x, z$ ). Lijevi je snimak ostao nemodificirani ortofotosnimak s ortogonalnom projekcijom orijentiranog stereomodela na onu istu referentnu ravninu.

Zelimo li da umjetno izazvane  $p_x$  paralakse postanu po veličini jednake naravnim  $p_x$  — paralaksama projiciranih parcijalnih aerosniamka u dosadašnjim stereomodelima bit će prema *T.J. Blachutu* i *A.J. Smislowskom* potrebna definicija umjetno izazvanih  $p_x$  — paralaksa u formi logaritmičke funkcije i to

$$p_x = \int_0^h \frac{B}{H-h} dh = B \ln \left( \frac{H}{H-h} \right) \dots \dots \dots 2.)$$

gdje je  $B$  linearna veličina baze stereomodela,  $H$  srednja projekciona daljina, a  $h$  visina neke točke u odnosu na referentnu ravninu.

Promatramo li stereoskopom dvije fotografske (transformirane) slike tj. ortofotosnimak i stereofotosnimak (»stereo-mate«) dolazimo do jednoznačnog prostornog modela zemljišta kojega možemo podvrći izmjeri i mjernoj interpretaciji jer ima svojstva relativno i apsolutno orijentiranog stereomodela.

Kao daljnje bitno svojstvo stereoortoparova je vrlo povoljni zakon nago- milavanja pogrešaka u odnosu na paralakse  $p_x$  t. j. — kako je to pakazao *S. H. Collins* imamo da je

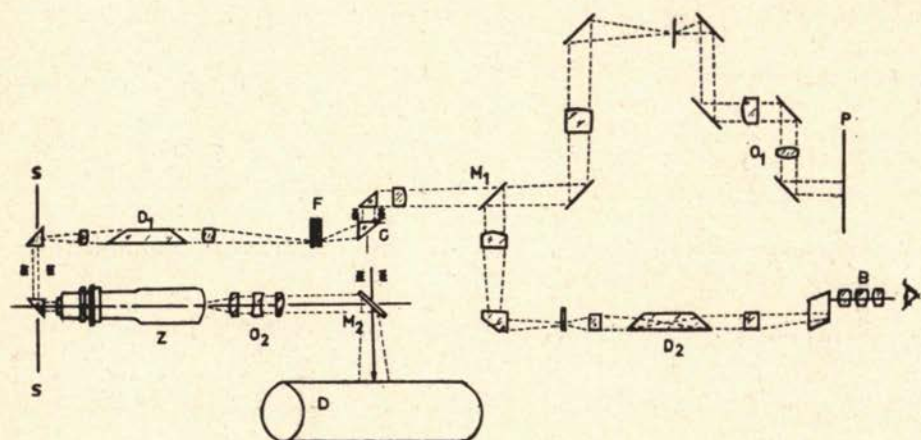
$$\Delta p_x = \frac{x}{H-h} (\Delta Z_2 - \Delta Z_1) \dots \dots \dots 3.)$$

gdje su  $x$  slikovne apscise pojedinih točaka ortofotosnimaka s ishodištem u njegovom nadiru, a  $\Delta z_1$  i  $\Delta z_2$  visinske pogreške pri tangiranjima stereomodela u profilima prigodom izrade budućih ortofotosnimaka dotično stereofoto- snimaka. Iz formule 3) se vidi da se pogreške horizontalnih paralaksa  $\Delta p_x$  mogu zanemariti ako je izmjera profila u visinskom smislu brižljivo izvedena te ako se ortofotosnimak i stereofotosnimak izvede na osnovu istih podataka prigodom jedne te iste izmjere pojedinih profila pri diferencijalnom redre siranju. Može se dakle zaključiti da stereoortofotosistem garantira veliku visinsku točnost pojedinih točaka ako su pogreške odgovarajućih točaka obiju slika nastale izmjerom profila jednake. Teoretski to znači da je pogreška vi- sinske izmjere duž profila drugorazrednog značenja što omogućuje pojed- nostavljenije instrumentalnih rješenja

### III

Za izradu stereoortofotoparova mogu se — provedbom manjih modifika- cija — primijeniti postojeći ortofotoskopi kako se to vidi iz najnovijih pot- hvata tvornice *Galileo* u Firenci za stereoinstrument *Stereosimpleks*. Nije isključeno da će i tvornica *Wild* u Heerbruggu prigodom adaptacije autografa *A-8* za ortofotoskopiju poći putem stereoortofotoskopije.

Za sada kao gotov postoji instrument ortokartograf *Blachuta* kojim se ostvaruje istovremeno ortofotosnimak i stereofotosnimak na osnovu istih mjernih podataka dobivenih izmjerom orijentiranih stereomodela. Obje slike se proizvode istovremeno na dva bubnja koji se pokreću kontrolirano, diferencijalnim rotacijama. Optički prenosni sistem vidljiv je na shematskom prikazu u sl. 2. Automatska izmjera profila (uz pomoć korelatora) bila bi zasada moguća samo za ona mjerila snimaka za koja visine objekata (stabla, zgrade, i sl.) nisu zapreka da se fizička Zemljina površina prikaže dovoljno vjerno. Za krupnija mjerila dolazi zasada u obzir samo personalna izmjera.



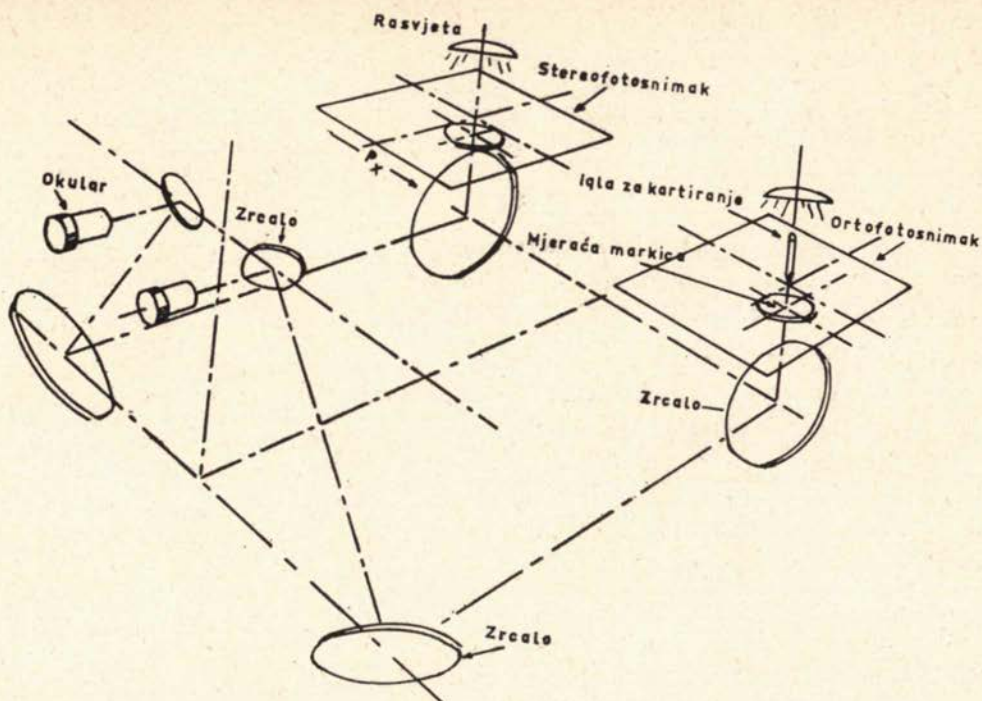
Slika 2. Optički prijenosni sistem

Ortokartograf *Blachuta* (koji će tokom 1972. predvidivo biti dovršen za proizvodnju) omogućuje povećanje mjerila originalnih aerosnimaka i do pet puta; upotrebom deponiranih podataka izmjere po profilima; preradu kako crno-bijelih tako i kolor-aerosnimaka eksponiranih kamerama žarišnih daljina od 85 do 210 mm. Važan je atribut tog instrumenta mogućnost rada pri svjetlu jer je slikovni prijenosni sistem (sl. 2) sa bubnjevima na kojima dolazi do eksponiranja parcijalnih slika stereoortoparova fizički zatvorena cjelina nepristupna za svjetlo.

#### IV

Kompliciranost postojećih analognih stereoinstrumenata u uskoj je vezi s eliminiranjem  $y$  — paralaksa diljem stereomodela. Budući da je stereoortofotopar u svakoj točki modela oslobođen  $y$  — paralakse to su za restituciju (planimetrijsku i visinsku) stereoortofotoparova dovoljni jednostavni instrumenti.

T. J. *Blachut* je sa svojim kanadskim suradnicima izradio prototip jednostavnog stereoinstrumenta s višestrukom namjenom kojemu je dao naziv *Stereocompiler*. Gornji dio tog instrumenta, koji je izveden u obliku ormarića sa dva nosača slika t. j. ortofotosnimaka i stereofotosnimaka pokreće se u oba ortogonalna smjera na umjetno izazvanim zračnim jastučićima dimenzija 0,02 do 0,03 mm po staklenoj ploči podložnog stola. Paralelno vođenje



Slika 3. Shematski prikaz opservacionog dijela Stereocompilera

tih slikovnih kolica izvodi se uređajem sličnim pantografu. U sredini tik ispod donje plohe nosača slika nalaze se crne, točkaste, mjeraće markice na čvrsto ugrađenim transparentnim pločicama. U opservacionom dijelu Stereocompilera nalazimo elemente zrcalnog stereoskopa. Nad snimcima se nalazi most koji nosi u vertikali iznad mjernih markica olovku dotično iglicu za kartiranje (graviranje). Na tom mostu su izvori umjetne rasvjete. Nosač koji nosi snimak s umjetno izazvanim paralaksama (stereo-mate) može se pokretati u  $x$  smjeru pomoću pripadne pedalne ploče. Time se — relativno prema modelu — prostorna markica diže i spušta. Iznosi tih visinskih pomaka mogu se očitati na posebnom prikladno graduiranom rezmjerniku.

Na oba parcijalna snimka stereortofotopara stavlja se transparentni ili polutransparentni crtači materijal dotično podloga za graviranje. Faktično se kartiranje izvodi na tim podlogama s gornje strane snimaka te se ti crteži dotično gravure mogu, po potrebi lako korigirati.

Stereocompiler (ili slični instrumenti) omogućuje izvedbu vrijednih rezultata pomoću osoblja koje ima i skromniju fotogrametrijsku naobrazbu. Jednostavna translacija i rotacija obaju snimaka vodi do prostornog modela čistog od  $y$  - paralaksa. Crtež o kojemu je bilo riječi je u svakom momentu vidljiv u kontaktu sa mjernim snimcima.

Tek instrument s takvim svojstvima pruža mogućnost širokoj masi korisnika aerosnimaka da dođe zaista relativno brzo, jeftino i pouzdano do željenih mjernih podataka kako na području fotogrametrije tako i fotointerpretacije.

## V

Prije rada na kartiranju često se treba provesti prethodna terenska interpretacija. Stereoortofotoparovi daju mogućnost da se na njih ucrtane pojediniosti lako prenose na manuskript karte i to ili na stolu (pultu) za prosvjetljavanje ili na instrumentu kao što je opisani Stereocompiler.

## VI

Prvi pokusi sa Blachutovim Stereocompilerom su pokazali da rezultati kartiranja s tim instrumentom u pogledu pouzdanosti, dotično potpunosti odgovaraju vrlo brižljivoj i relativno dugotrajnijoj restituciji na stereoinstrumentima prvoga reda.

I reambulaciju postojećih karata i planova različitih sadržaja (katastar, karta vegetacije, urbanistički planovi, geološke karte i sl.) moguće je lako i jednostavno provesti. Pri tome se u instrument stavljaju stereoortofotoparovi, a na njih postojeće karte i planovi koje se stereoskopski kompariraju sa sadašnjim stanjem. Sve se nastale i uočljive promjene te novi objekti mogu lako i jednostavno ucrtati u postojeće kartografske podloge.

Komparacija mjerenja na stereoortofotoparovima s jedne strane (Stereocompiler) te konvencionalne restitucije na autografu *Wild A 7* pokazuju da transformirani aerosnimci stereoparova pokazuju srednje pogreške položaja  $m_x$ ,  $m_y$ , dotično visina  $m_z$  koje se za mjerila ortofotosnimaka između 1:12.500 i 1:2.000 kreću u granicama od  $\pm 0,22$  mm do  $\pm 0,10$  mm.

Kao daljnja mogućnost primjene stereoortofotoparova predviđa se digitaliziranje terena tj. numerička pohrana iz stereomodela izvedenih trodimenzionalnih informacija u obliku triju ortogonalnih prostornih koordinata  $X$ ,  $Y$  i  $Z$ .

S organizacione točke gledanja ne može se dovoljno podvući prednost novo predložene tehnike kartiranja pri kojoj ima mjesta za sve odgovarajuće stručnjake (geologe, šumare, pedologe, urbaniste, hidrologe, geografe itd.) koji se bave izučavanjem i kartiranjem Zemlje kao i prirodnih i umjetnih objekata na njoj da sudjeluju u kartiranjima koja dovode do jedinstvene karte nekog državnog područja, s onim bogatstvom informacija koje uključuju uz čisto geometrijske i ostale tako važne podatke za inventarizaciju prirodnih i ostalih bogatstava u razvijenim zemljama, a još više u zemljama u razvoju. Ta nova tehnika omogućuje stvarno postizavanje željenih atributa fotogrametrijske tehnike tj. *brzinu, pouzdanost i ekonomičnost*.

Stereoortofotosistem uvjetuje s jedne strane centralizaciju radova (izrada ortofotosnimaka dotično priključenih snimaka s umjetno izazvanim paralaksama) koji se povjeravaju manjoj grupi stručnjaka, a s druge strane omogućuje decentralizaciju radova (kartiranje, inventarizaciju dobara) po pojedinim specijaliziranim ustanovama i pojedincima diljem neke države.