

LIT.: M. Plotnikov, Infračrvena fotografija, Zagreb 1946. — B. Newhall, The History of photography, New York 1949. — H. Gernsheim - A. Gernsheim, The History of photography, London-New York-Toronto 1955. — E. Mutter, Die Technik der Negativ und Positivverfahren, Wien 1955. — P. Glaskindes, Photographic chemistry, I, II, London 1958. — K. Weber, Kolor fotografija, Zagreb 1960. — C. B. Neblette, Photography, its materials and processes, New York 1962. — The focal encyclopedic of photography Vol. 1, i, 2, London - New York 1965. — R. M. Schaffert, Electrophotography, London-New York 1965. — E. Mutter, Farbphotographie (Theorie und Praxis), Wien 1967. — G. Spitzing, Grenzberichte der Fotografie, Seebach am Chiemsee 1968. — C. E. Engel, Photography for the scientist, London-New York 1968. — Д. З. Буянович, А. Б. Фомин, Справочник фотографа, Москва 1970. — C. R. Arnold, P. J. Rolls, James C. J. Stewart, Applied photography, London 1971. — E. A. Weber, Farbfotopraktikum, Berlin-New York 1971. — C. I. Jacobson and L. A. Manhein, Enlarging (The technique of the positive), London 1972. — P. Kowalski, Théorie photographique appliquée, Paris 1972. — C. I. Jacobson and R. E. Jacobson, Developing (The negativ technique), London 1972.

K. Kempni

FOTOGRAMETRIJA, tehnika mjerjenja pomoću koje se iz fotografiskih snimaka izvodi oblik, veličina i položaj snimljenog predmeta. Tom tehnikom izvršena izmjera naziva se *fotogrametrijska izmjera* ili kraće *fotoizmjera*.

Kod njene primjene u geodetske svrhe snimljeni je predmet (objekt) zemljiste s njegovim prirodnim i umjetnim pojedinostima, od kojeg se fotogrametrijskim metodama dobiva bilo samo situacija, bilo situacija s konfiguracijom. Općenito se dobiva od snimljenog objekta ili dvodimenzionalna (ravninska) ili trodimenzionalna (prostorna) predodžba.

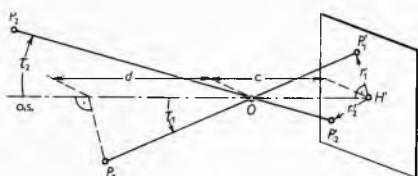
Zahvaljujući okolnosti da se fotogrametrijska izmjera ne vrši direktno na samom objektu, već se objekt snima iz podaljeg ili dapače iz velike udaljenosti, otvaraju se za izmjera nova područja, na kojima je ona dotada zbog nepristupačnosti ili slabe pristupačnosti objekta bila nemoguća ili teška (prušme, ledenići, pustinje, močvare, podvodni plićaci i grebeni, unutrašnjost čovječjeg tijela itd.). Okolnost pak da se kratkotrajnom eksponiraju snima cijela (vrlo često i golema) površina, tj. ∞ tačaka, odjedanput, a ne tačka po tačku, čini fotogrametrijsku metodu izvanredno brzom.

Fotogrametrijom se plan može izraditi ne samo konturno (samo s graničnim linijama između raznovrsnih elemenata, npr. između dvije parcele, i generaliziranom predodžbom tih elemenata), već i tako da on sadrži takoder sve pojedinosti vidljive s položaja kamere kojom se snima. To pri primjeni u geodeziji nije uvjek potrebno, a katkada nije ni poželjno, ali takav plan u fotografskom obliku predstavlja novi kvalitet za veliki broj drugih područja, kao što su hidrotehnika, projektiranje komunikacija, urbanizam, sanacija tla, itd.

Ovo su glavne osobine, ali ne i jedine, koje su uvjetovale brz prodror i afirmaciju fotogrametrijske metode u izmjeri raznovrsnih područja.

Optičko preslikavanje pri fotografskom snimanju

Kako je u fotogrametriji objektiv pojmovno i materijalno sa snimkom čvrsto povezan u *kameru*, neki optički pojmovi koji se odnose na objektiv prevode se u fotogrametrijske pojmove koji se odnose na kameru. Optička os objektiva prevodi se u *os snimanja* (o. s.), koja je definirana kao pravac kroz projekciono središte okomit na ravninu snimka (fotograma, sl. 1); taj pravac



Sl. 1. Geometrijska predodžba optičkog preslikavanja. o. s. os snimanja

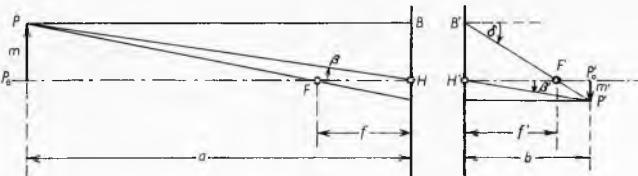
probada snimak u *glavnoj tački snimka* H' ; slikovna, odn. žarišna daljina b , odn. f (v. sl. 2) prevodi se u *konstantu kamere* c , koja povezuje *radijalnu udaljenost* r' s *osnim kutom* τ , i to — za nedeformirane snimke — prema jednadžbi $r' = c \tan \tau$, koja vrijedi za centralnu projekciju. Pri tom je osni kut onaj kut što ga zatvara (glavna) zraka preslikavane tačke s optičkom osi (osi snimanja). Konstanta snimka c je po veličini vrlo blizu slikovnoj daljinu b , koja za optički neizmjerne udaljenosti snimanja prelazi u žarišnu daljinu f .

Efekt djelovanja objektiva u stvaranju slike m' predmeta m okomitog na optičku os određen je geometrijski konstrukcijom prikazanom na sl. 2. Optička pridruženost (konjugiranost) pred-

meta m i slike m' izražena je glavnom dioptrijskom formulom

$$(1 : a) + (1 : b) = (1 : f),$$

gdje su a , b i f predmetna, slikovna i žarišna daljina. Ravnine okomite na optičku os u kojima se nalaze dužine HB i $H'B'$ jesu *prednja*, odn. *stražnja glavna ravnina objektiva*. One su jedna drugoj optički pridružene; mjerilo preslikavanja za njih je 1 ($HB = H'B'$).

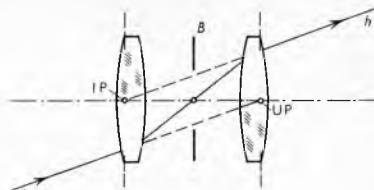


Sl. 2. Grafičko određivanje položaja slike na osnovi glavne dioptrijske formule

Između glavnih ravnina konstrukcija se prekida, te se stanje u glavnoj ravnini kroz HB prenosi u glavnu ravninu kroz $H'B'$. Prostor ispred prednje glavne ravnine naziva se *prostor predmeta*, a prostor iza stražnje glavne ravnine *prostor (realne) slike ili snimka*. Zraka iz tačke P paralelna s optičkom osi skreće u prostoru slike prema stražnjem fokusu F' , a zraka iz te tačke koja prolazi prednjim fokusom F nastavlja put u prostoru slike paralelno s optičkom osi. Ako je ispred i iza objektiva medij iste optičke gustoće (istog indeksa loma: $n = n'$), zraka koja ide od P prema glavnoj tački H u prostoru slike samo je paralelno pomaknuta u smjer $H'P'$, pa je kut β jednak kutu β' . Ako su ispred i iza objektiva mediji različite optičke gustoće, paralelna će biti zraka koja u prostoru predmeta polazi od tačke P i smjera prema nekoj tački K na optičkoj osi objektiva, s njenom pridruženom zrakom u prostoru slike, koja ima smjer iz tačke K' na optičkoj osi. Tačke K i K' zovu se *prednja i stražnja čvršća tačka* i one su identične s glavnim tačkama H i H' za $n = n'$.

Perspektiva fotogrametrijskih snimaka

Perspektiva fotogrametrijskog preslikavanja odredena je položajem projekcionog središta objektiva kamere i smjerom osi snimanja koja kroza nj prolazi. Projekciono središte nalazi se u središtu ulazne pupile UP (sl. 3). Na snimku (fotogramu) bit će



Sl. 3. Fizikalna projekcionalna središta optičkog preslikavanja

preslikano sve što bi se vidjelo iz središta UP ulazne pupile objektiva, a što je obuhvaćeno vidnim poljem kamere. [Središte ulazne pupile objektiva UP i središte izlazne pupile objektiva IP vrhovi su ulaznog (vanjskog) i izlaznog (unutarnjeg) snopa glavnih zraka h koje faktički prolaze središtem dijafragme B .]

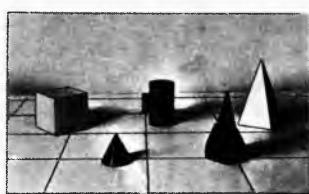
U fotogrametriji upotrebljava se pojednostavljena predodžba optičkog preslikavanja koja potpuno zadovoljava za analizu geometrijskih odnosa, naročito diferencijalnih. Prema toj predodžbi aproksimira se optičko preslikavanje centralnom projekcijom kojoj je projekciono središte O ulazna pupila objektiva, tj. svaka tačka P predmeta (npr. na sl. 1 tačke P_1 i P_2) preslikava se na snimak pomoću pravocrtnе zrake POP' koja prolazi istom tačkom O . Ako se može zamisliti da je snimak nastao kao rezultat idealne centralne projekcije, kaže se da je takav snimak nedeformiran, a ako snimak od tog svojstva odstupa, to se odstupanje zove *deformacija snimka* (fotograma). Optička deformacija fotograma izazvana je pogreškom objektiva koja se zove *distorzija*.

Položaj projekcionog središta naziva se u geodeziji *stajalište*. U aerofotogrametriji, gdje pri snimanju iz aviona kamera kojom se snima nije nepokretna, te prema tome nije nepokretno ni projekciono središte, položaj se ovog naziva *snimalište*.

Premda je os snimanja pri snimanju horizontalna, blago nagnuta, kosa, strma ili vertikalna, razlikuju se horizontalni, blago nagnuti, kosi, strmi i vertikalni snimci (sl. 4-7). U terestričkoj geodetskoj fotogrametriji snimci su zemljišta *horizontalni*,



Sl. 4. Horizontalni snimak



Sl. 5. Blago nagnuti snimak



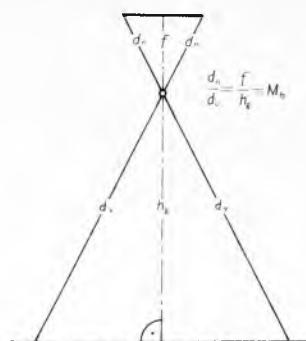
Sl. 6. Kosi snimak



Sl. 7. Vertikalni snimak

blago nagnuti ili *kosi*, u aerofotogrametriji su *vertikalni* ili *strmi*, rjeđe *kosi* ili *blago nagnuti*.

Omjer konstante kamere (snimka, fotograma) c prema udaljenosti snimljene tačke od ravnine snimka [omjer $c/(d + c) \approx c/d$ (budući da je $c \ll d$)] daje *mjerilo preslikavanja* za elementarni potez kroz tu tačku paralelan s ravninom snimka. Ono je vrlo odlučno za tačnost fotogrametrijske izmjere. Mjerilo preslikavanja *vertikalnog* snimka horizontalnog terena (tj. pri snimanju iz aviona) konstantno je diljem čitavog snimka (sl. 8), pa se može u tom slučaju govoriti o *mjerilu snimka (fotograma)*. Ono je jednako $M_b = 1 : m_b = c_b : h_g \approx f : h_g$, gdje je m_b recipročna vrijednost mjerila snimka, a h_g relativna visina leta iznad snimljenog terena (indeks b odnosi se na snimak, a indeks g na teren). Mjerilo snimka odabire se prvenstveno prema željenom mjerilu kartiranja $M_k = 1 : m_k$, i to po formuli $m_b = C\sqrt{m_k}$. Konstanta C ovisi u prvom redu o kvalitetu fotogrametrijske kamere i instrumenta; kod regularne fotogrametrije iznosi za kvalitetne uslove ~ 200 . Mjerilo preslikavanja *horizontalnog* snimka, naprotiv, a time i tačnost fotogrametrijskog premjera,

Sl. 8. Mjerilo vertikalnog snimka. d_n i d_v nutarnji, odn. vanjski odrezak zrake

mijenja se u širokim razmjerama (sl. 9). Nazivnik d mjerila preslikavanja $f : d$ opada prema pozadini ($d_1 < d_2 < d_3$), dok brojnik f ostaje konstantan. Prema pozadini postaje i kut presijecanja δ sve šiljatiji ($\delta_1 > \delta_2 > \delta_3$). Iz ta dva razloga pogreška dy u određivanju horizontalne udaljenosti raste s kvadratom udaljenosti d . Naprotiv je visinska pogreška dh mnogo homogenija: u prednjem dijelu strmi nagib ε_1 ne dolazi previše do izražaja zbog malog dy , a u pozadini veliki dy_3 ne dolazi previše do izražaja zbog malog nagiba ε_3 .

Stereoskopsko snimanje

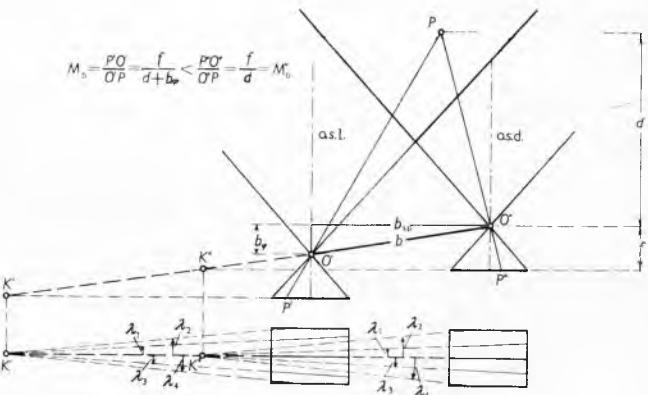
Sve što je dosad rečeno odnosi se na pojedinačni snimak, tj. na snimak snimljen s jednog snimališta. S pomoću jednog takvog snimka može se rekonstruirati snimljeni objekt ako je ravan, ili približno ravan (npr. horizontalno zemljište). Ako je predmet prostoran, trodimenzionalan, treba ga radi njegove fotogrametrijske rekonstrukcije snimiti sa dva snimališta. Takvo se snimanje naziva *stereoskopsko snimanje*, dobivena dva snimka zovu se *stereopar*, a fotogrametrijska rekonstrukcija s pomoću stereopara naziva se *stereofotogramtrijom*.

Razmak snimališta pri stereoskopskom snimanju naziva se *bazom snimanja*. Ravnina položena pravcem baze naziva se *nuklearna ravnilina*. Svaka takva ravnilina siječe lijevi i desni snimak stereopara u paru pridruženih *nuklearnih zraka*. Nuklearne zrake jednog snimka konvergiraju prema tački koja se zove *nuklearna tačka*, K_1 (ili K') za lijevi snimak, K_d (ili K'') za desni. Ona se nalazi u probodištu pravca baze s ravninom snimka (v. sl. 12a); pridruženi parovi nuklearnih zraka sijeku se na presječnici q ravninu lijevog i desnog snimka.

Prigodom stereoskopskog snimanja najčešće se nastoji da oba snimka stereopara budu u jednoj ravnini. Tako dobiven stereopar zove se *normalni stereopar*; kod njega su nuklearne zrake svakog pojedinog snimka paralele (nuklearne tačke su u neizmjernostima) a par pridruženih nuklearnih zraka leži na istom pravcu (sl. 10). Normalni stereopar predstavlja *normalni slučaj relativne orientacije*. Ako oba snimka stereopara nisu u istoj ravnini, nego u paralelnim ravninama, takav se stereopar zove *paralelno zakrenut stereopar*; u njemu nuklearne zrake pojedinih snimaka konvergiraju, a par pridruženih nuklearnih zraka je paralelan (sl. 11). Ako osi snimanja pojedinih snimaka stereopara konvergiraju, stereopar se naziva *konvergentnim stereoparam*: na njemu konvergiraju i nuklearne zrake pojedinih sni-

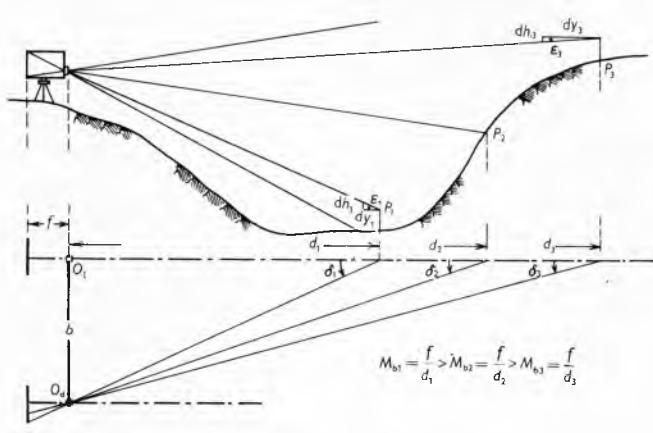
Sl. 10. Nuklearne zrake kod normalnog stereopara

stereopar zove *paralelno zakrenut stereopar*; u njemu nuklearne zrake pojedinih snimaka konvergiraju, a par pridruženih nuklearnih zraka je paralelan (sl. 11). Ako osi snimanja pojedinih snimaka stereopara konvergiraju, stereopar se naziva *konvergentnim stereoparam*: na njemu konvergiraju i nuklearne zrake pojedinih sni-



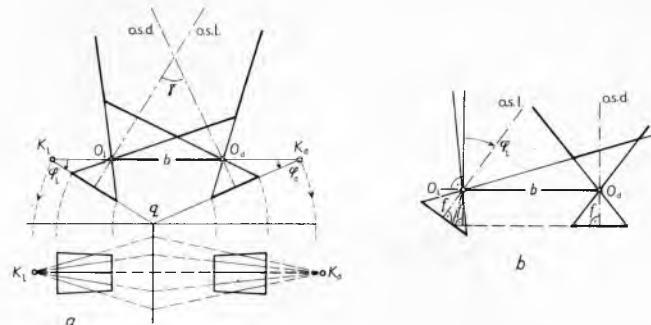
Sl. 11. Nuklearne zrake kod paralelno zaokrenutog stereopara

maka i pridružene nuklearne zrake (sl. 12a). *Normalkonvergentnim stereoparam* naziva se stereopar kad je os snimanja s jednog snimališta okomita na bazu, a os snimanja s drugog snimališta je zakrenuta prema pridruženom snimalištu (sl. 12b).



Sl. 9. Mjerilo i pogreške terestričkih snimaka

Razmak nuklearnih zraka na slikama 10–12 grafički prikazuje kako se mjerilo preslikavanja mijenja duž pojasa paralelnog s bazom.



Sl. 12. Nuklearne zrake kod konvergentnog stereopara (a) i dispozicija snimanja kod normalkonvergentnog stereopara (b)

Fotogrametrijske kamere

Prema tome da li se zemljište snima sa zemlje ili iz zraka, razlikuje se *terestrička fotogrametrija* i *aerofotogrametrija*. (Snimci sa visokih zemaljskih objekata i sa plovnih objekata predstavljaju rđe i manje važne slučajeve, a pribrajaju se terestričkoj fotogrametriji.) Fotogrametrijske kamere mogu se razlikovati prema tome da li služe terestričkoj fotogrametriji ili aerofotogrametriji.

Snimanje sa zemlje vrši se kamerom s kojom je povezan orijentacioni uredaj (teodolit, sl. 13). Taj uredaj služi za geodetska mjerena koja su potrebna za orientaciju snimanja, što je kod terestričke fotogrametrije omogućeno čvrstim položajem kamere. Takva se kombinacija kamere i orijentacionog uredaja zove *fototeodolit*.

Za stereoskopsko snimanje blizih prostornih predmeta upotrebljava se *stereokamera* (sl. 14). Kod nje su na krajevima jedne cijevi fiksno montirane dvije jednake krute kamere, kojima slikovni okviri leže u istoj ravnini, a zapori su im sinhronizirani. Razmak projekcionih središta (baza snimanja) im je prema tome fiksan.

Snimanje iz zraka redovito se vrši iz aviona. Kako se on kreće velikom brzinom, potrebno je da se aerosnimanje mehanizira, te se ono obavlja pomoću *automatskih aerokamera* (sl. 15).

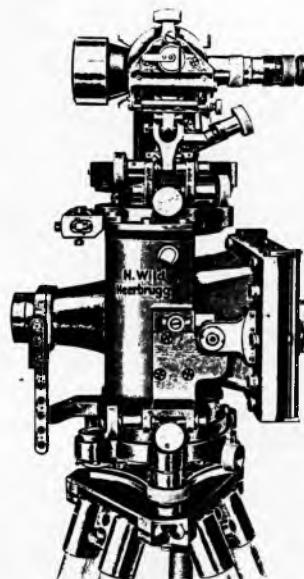
Desno na slici vidi se elektromotor. Rotacija njegove osovine prenosi se preko glibljive osovine uljevo do kamernog trupa, na koji je nasadena fotografска kasetna. Kamerni trup počiva preko amortizera (u ovom slučaju na pero) na postolju, koje je zbog zanašanja uslijed postranog vjetra izvedeno okretljivo.

Orijentacija snimaka

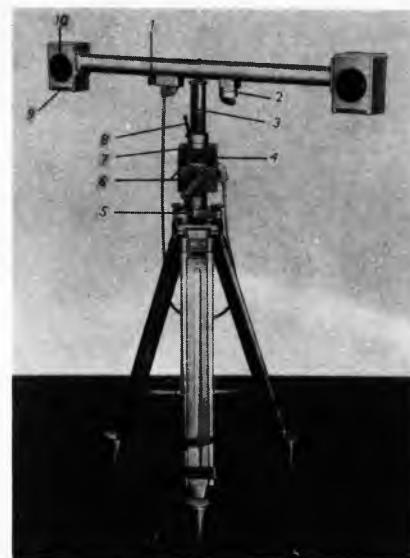
Da bi se postigla svrha fotogrametrije, tj. da bi se iz fotografiskih snimaka izveo oblik, veličina i položaj snimljenog područja, mora najprije biti odredena *orientacija snimka*, tj. moraju biti rekonstruirani geometrijski odnosi koji su vladali prigodom snimanja. Postupak tog rekonstruiranja takođe se naziva *orientacijom*.

Prije svega mora biti odredena *unutarnja orientacija* snimka, tj. njegova orientacija u odnosu prema projekcionom središtu fotografskog preslikavanja. Snimak čija je unutarnja orientacija poznata naziva se *mjernim ili fotogrametrijskim snimkom* (često skraćeno: *snimkom* ili *fotogram*). Unutarnjom orientacijom snimka rekonstruira se piramidasto ograničeni snop zraka (projekciono središte s formatom snimka oblikuje piramidu) kongruentan s onim originalnim snopom koji je eksponirao snimak snimljenog područja (v. sl. 25). Š obzirom na to da je unutarnja orientacija fotograma poznata, on se može smatrati iscrpmom i kontinuiranom memorijom podataka za smjerove zraka.

Kod optičke rekonstrukcije zrakâ kao i kod snimanja (v. sl. 21), svakoj tački snimanog odn. snimljenog objekta pripada jedan uzak stožac svjetlosnih zrakâ, koje prodiru kroz otvor objektiva kamere odn. projektora. Taj se stožac naziva *preslikavajući snop zraka*. Njegova os h smjerâ prema projekcionom središtu O (središtu ulazne pupile UP), a prolazi središtem zaslona B (diaphragme) (v. sl. 3). Zraka h zove se *glavna zraka*. Pojmovnom redukcijom snopâ zraka u njihove glavne zrake dobiva se *fotogrametrijski snop zraka* (v. sl. 29).



Sl. 13. Fototeodolit (Wild)



Sl. 14. Stereokamera SMK (Opton Feintechnik, Oberkochen; OFO). 1 Optičko tražilo 2 precizna libela, 3 izvlačivi cijevni stup, 4 okidač za sinhroniziranu eksponazu, 5 pogonska ručka za vertikalno pomicanje stupa, 6 kontrolne žaruljice, 7 dozna libela, 8 kočnica za izvlačivi cijevni stup, 9 zaokretna poluga za odmak nosača kasete, 10 objektiv



Sl. 15. Automatska aerokamera RMK P 21 (Zeiss-Aerotopograph, Jena; ZAJ)

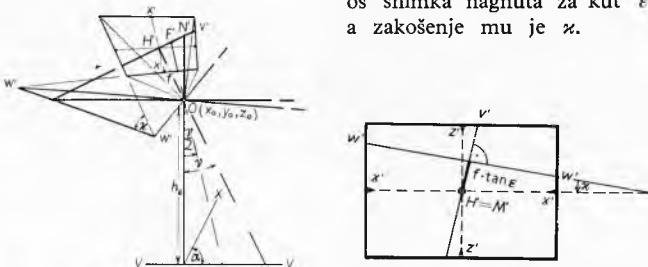
Ako je područje snimljeno na par snimaka (stereopar) sa dva razna snimališta, te prema tome stoje na raspolažanju dva ovako kongruentno rekonstruirana snopa zraka, njihovom među-

sobnom orientacijom dobiva se rekonstruirani oblik snimljenog područja ili njegov *model*. Ta se operacija naziva *relativnom orientacijom*. (Prema relativnoj orientaciji razlikuju se normalni, paralelni zakrenuti, konvergentni i normalkonvergentni stereopar, kako je prije rečeno.) Relativnom orientacijom dvaju fotogrametrijskih snopova zraka dovode se svi pridruženi parovi zraka do svog presjeka P . Kontinuum tih presjeka čini nedeformirani model snimljenog područja (v. sl. 18 i 29).

Određivanje mjerila modela i njegovog položaja u prostoru s obzirom na zadani zemljšni koordinatni sustav naziva se *apsolutnom orientacijom modela* (relativno orientiranog para snimaka). Pri tom se prevodenje modela u horizontalni položaj naziva *horizontalacija modela*.

Relativna i apsolutna orientacija para snimaka mogu se nadomjestiti *vanjskom orientacijom* svakog pojedinog snimka, tj. prostornom orientacijom, prostornim presjecanjem natrag fotogrametrijskog snopa zraka s obzirom na zadani zemljšni koordinatni sustav. Vanjska je orientacija odredena (sl. 16) prostornim koordinatama snimališta x_0, y_0, z_0 , nadirnim otklonom v , azimutnim smjerom snimka α i zakošenjem snimka κ .

Nadirni otklon v je otklon osi snimanja od vertikale kroz snimalište; ta vertikala probada teren u nadiru N , a snimak u nadirnoj tački snimka N' . Kad je $v = 0$, os snimanja leži u vertikali kroz O . Ako je $v \neq 0$, os snimanja otklonjena od vertikale, i to u smjeru v , koji se naziva *azimutnim smjerom snimka* (npr. otklonjena je prema sjeveru ili jugu). Azimutni smjer snimka zatvara s apscisnom osi zemaljskog koordinatnog sistema smjerni kut α_0 . *Zakošenje snimka* κ nastaje zakretanjem snimka u njegovoj ravnini oko glavne tačke H' . Ono je kvantitativno određeno kutom što ga zatvara apscisna os snimka x' s *horizontom snimka* w' , tj. s presečnicom razine snimališta s ravninom snimka. Na sl. 17 os snimka nagnuta za kut ε , a zakošenje mu je κ .



Sl. 16. Elementi vanjske orientacije

Sl. 17. Zakošenje blago nagnutog snimka

Tačke uočljive na snimku kojima je poznat bilo prostorni položaj (tj. koordinate x, y, z) bilo samo situacija (koordinate x, y) ili nadmorska visina i koje služe za određivanje, odnosno kontrolu vanjske ili apsolutne orientacije zovu se *orientacione tačke*.

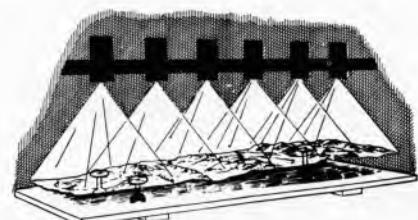
Unutarnja orientacija fotograma je principijelno poznata. Vanjska orientacija obaju terestričkih fotograma (stereopara) određuje se geodetskim metodama neposredno prije ili poslije snimanja.

Relativna orientacija (stereo)para aerosnimaka određuje se sistematskim dovođenjem svih pridruženih parova zraka do presjeka (stanje kao na sl. 29, za razliku od stanja na sl. 33, gdje se pridruženi par zraka za tačku P mimoilazi s P_{v1}), a apsolutna se orientacija određuje na temelju orientacionih tačaka.

Kod korišćenja pojedinačnih aerosnimaka (redresiranja, v. str. 588) određuje se vanjska orientacija, i to redovito na temelju orientacionih tačaka, a rijedko iz aerotriangulacije (v. malo dalje) ili podataka fotografiski registriranih sinhrono sa snimanjem terena [stanja preciznog barometra (statoskopa), snimka horizonta, Sunca].

Kod snimaka izvedenih pomoću stereokamere (v. sl. 14), unutarnja i relativna orientacija (normalni stereopar) su poznate, a od apsolutne su orientacije poznati mjerilo i horizontalacija, tj. uzdužni i poprečni nagib modela. (Mjerilo je poznato jer je poznata duljina baze, a horizontalacija je poznata ako su poznati nagibi obiju osi snimanja, kao što je to slučaj kod stereokamere, gdje se nagib osi snimanja prema horizontali dovede na vrijednost nula ili na poznati okrugli broj stupnjeva navrhunivši libelu.)

Određivanje vanjske orientacije snimka (odn. projektora u koji se ulažu snimci) njegovim priključenjem, njegovom relativnom orientacijom na prethodni, vanjski već orientiran, snimak i određivanje mjerila modela (stereopara) njegovim priključenjem na prethodni, apsolutno već orientiran, model predstavlja osnovni princip *aerotriangulacije*, i to *aeropoligonizacija* kao prostornog priključivanja snopova (sl. 18) i *radikalne triangulacije* kao priključivanja pramenova u ravnini snimaka (sl. 19), za koju se pri godom snimanja nastojalo da bude zajednička i horizontalna.



Sl. 18. Aeropoligonizacija

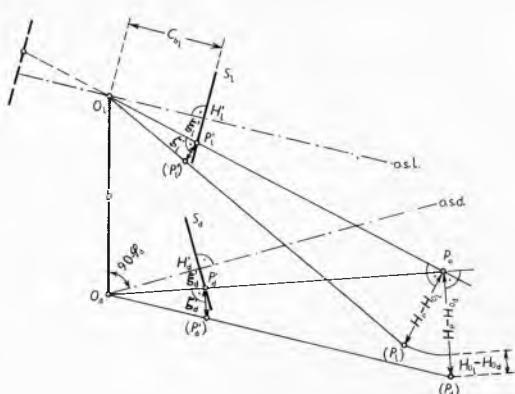


Sl. 19. Radikalne triangulacije

Tačke po sredini niza su glavne tačke sukcesivnih snimaka, a gornje i donje tačke su markantni topografski detalji koji se mogu prepoznati na sva tri uzastopna snimka. Tim *veznim tačkama* određen je na svakom snimku jedan pramen zraka u čijem vrhu je glavna tačka dotočnog snimka. Pri priključivanju koincidira se pravac prethodnog snimka i pravac priključivanog snimka koji povezuju njihove glavne tačke, a klizanjem tog pravca priključivanog snimka po pravcu prethodnog snimka odredi se mjerilo priključenog stereopara. Time se navedene vezne tačke povežu u *rombni lanac*. Vezne tačke kasnije služe kao orientacione tačke za apsolutnu (odn. vanjsku) orientaciju pojedinačnih stereoparova (odn. fotograma).

Rekonstrukcija svjetlosnih zraka

Već prema tome da li se pri izmjeri snimaka glavna zraka, koja je prigodom snimanja odredila na snimku položaj preslikane tačke objekta (zemljista), izrazi numerički pomoću formula, ili rekonstruira grafički pomoću crta, optički pomoću svjetlosnih zraka ili mehanički pomoću štapa, razlikuju se u fotogrametriji numerički, grafički, optički, optičkomehanički ili mehanički po-



Sl. 20. Grafička rekonstrukcija svjetlosnih zraka

stupak izmjere. Prva dva postupka nazivaju se matematičkim postupcima, a potonja tri spadaju u instrumentalne postupke. Kod njih se rekonstrukcija vrši pomoću optičkih, odnosno mehaničkih projektoru.

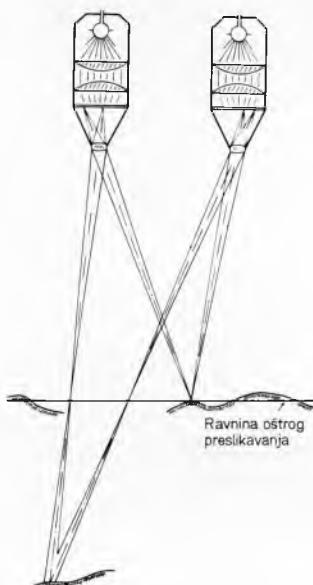
Već prema načinu rekonstrukcije, projekciono središte je određeno matematičkom tačkom, projekcionim objektivom sa zaslonom ili projekcionim kardanom odn. zglobom (v. sl. 20-24).

Na sl. 20 prikazan je *grafički postupak izmjere* primijenjen na horizontalni snimak.

Po svojim koordinatama x, y kartiraju se snimališta O . Iz tih tačaka povuku se osi snimanja o, o' , koje s bazom b zatvaraju poznati kut $90^\circ - \varphi$. Na udaljenosti konstante snimka c_b (koja je približno jednaka slikevoj daljini) povuku se tragovi S horizontalnog snimka. Od glavne tačke H' nanesenе se na tom tragu izmjerena apscisa ξ' . Tako dobivena tačka P' spojena sa snimalištem O daje horizontalnu projekciju zrake, te se u presjeku objiju projekcija dobije položaj P_0 izmjerene tačke P . Ako u tački P' prevladi mjerenu ordinatu ζ' , dobijemo tačku (P'), koju također spojimo sa snimalištem O . Tako dobijemo prevljeni nagib zrake, koja iznad P_0 daje visinsku razliku $H_P - H_0$ između izmjerene tačke i snimališta.

Sl. 21 prikazuje *dvostruku optičku projekciju*.

Svetlo projekcione žarulje usmjeri se pomoću kondenzora (dvije plankonveksne leće) prema projekcionom objektivu. To je uvjet za brilljantni rasvjetu dijapositiva, koji se projicira kroz objektiv na model. Od ovog su prikazane dvije tačke: jedna viša i druga niža. U njima se sijeku pridruženi parovi glavnih zraka.



Sl. 21. Dvostruka optička projekcija

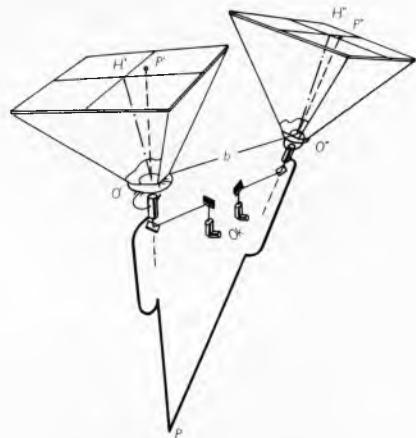


Sl. 22. Mekanička rekonstrukcija svjetlosnih zraka

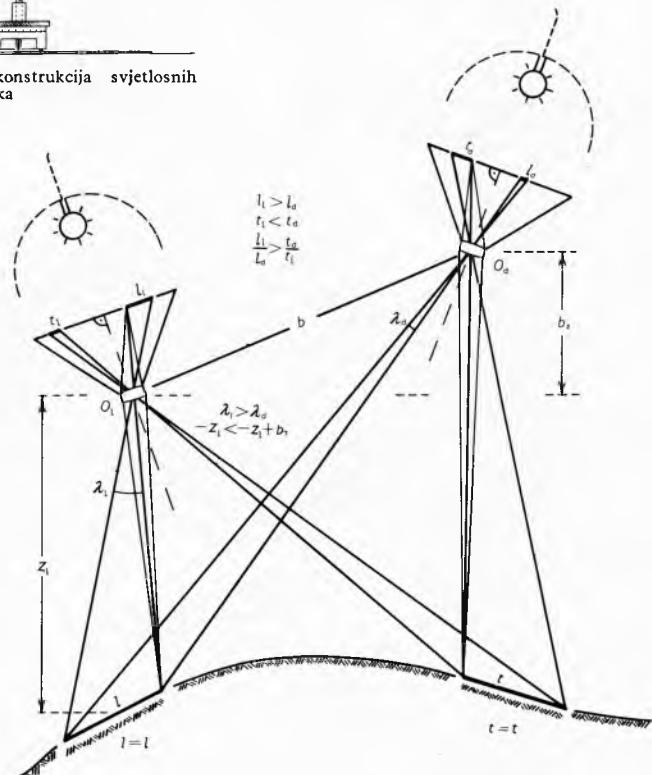
projekcije model dobiven dvostrukom projekcijom (v. sl. 18). Iz toga proizlaze glavna svojstva i nedostaci pojedinih projekcija: nejednakosti u mjerilu preslikavanja između jednog i drugog snimka, prouzročene odstupanjem od normalnog slučaja relativne orientacije i neparalelnosti terena (objekta) sa snimkom (sl. 24) mogu izazvati stereoskopske smetnje (v. str. 590) pri opservaciji kod mehaničke i optičko-mehaničke projekcije. Kod optičke projekcije, naprotiv, te se nejednakosti poništavaju projiciranjem na model. S druge strane, prelaz od snimaka jedne konstante snimka, odn. žarišne duljine, na snimke snimljene drugom kamerom, čija se žarišna duljina (konstanta) za nemali iznos razlikuje od žarišne duljine prve kamere, zahtijeva kod optičke i optičko-mehaničke projekcije izmjenu projekcionog objektiva. Iz tih razloga najviše se kod stereoinstrumenta primjenjuje mehanička, a najmanje optičko-mehanička projekcija.

Izmjera pojedinačnih snimaka

Kad je određena relativna orientacija projekcionog središta u odnosu prema snimku (unutarnjom orientacijom), rekonstruiran



Sl. 23. Optičko-mehanička rekonstrukcija svjetlosnih zraka



Sl. 24. Parcijalne razlike u mjerilu preslikavanja na lijevi i desni snimak uvjetovane odstupanjima od normalnog stereopara i konfiguracijom terena

Kod brdovitog terena oština za tačke modela koje su podalje od srednje ravnine modela, koja je optički konjugirana, pridružena ravnini snimaka, neće biti bespričorna.

Na sl. 22 vidi se shematski prikazana konstrukcija instrumenta s *mehaničkom rekonstrukcijom zraka*.

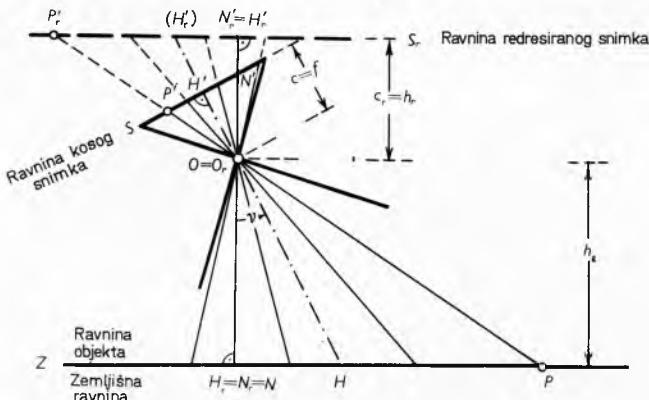
Gornji (nutarnji) i središnji (projekcioni) zglob izvedeni su redovito kao kardani. Presjecište primarne i sekundarne osi u gornjem kardanu predstavljaju geometrijski položaj uvizirane (mjerene) tačke snimka, a u središnjem kardanu projekciono središte. Geometrijski i materijalni položaj tačke snimka nalaze se često u istoj normali na ravninu snimka (npr. na sl. 43). Materijalni položaj preslike se pomoću objektiva 1 na mjerunu marku m. m. (sl. 22), koja se nalazi u žarišnoj ravnini objektiva 2. Ovaj od mjerene tačke snimka (optički fuzionirane s mjernom markom) upućuje paralelizirane zrake prema okularu. S obzirom na ovu paralelnost, prelaz od snimaka snimljenu kamerom jedne žarišne duljine na snimku snimljene kamerom druge žarišne duljine ne utječe na oštrinu slike koja se odvodi okularu, jer se pri tom u opservacionom toku mijenja po duljini samo odrezak u kojem su sve zrake koje pripadaju opserviranoj tački među sobom paralelne. Prelaz od jedne uvizirane tačke snimka na drugu postiže se mijenjanjem polarnih argumenata (u nekim stereoinstrumentima mijenjanjem ortogonalnih linearnih elemenata) za mjerunu marku m. m., što je na slici naznačeno punim strlicama. Pravocrtni lijevi i pridruženi desni štap, kojim treba projicirati slike iste tačke s desnog snimka, sjeku se u središtu donjeg kardana štapa, koji predstavlja rekonstruirani položaj mjerene tačke prostoru modela. Ta se tačka modela ortogonalno projicira pomoću crtaljke na planšetu za kartiranje tlocrta, a visina iznad planšete očita se grubo na stupu i fino na mikrometru. (Ovo je prikaz principijelnih mogućnosti mehaničke projekcije, a ne njene konkretnе izvedbe.)

Princip *optičko-mehaničkog postupka izmjere* prikazan je na sl. 23.

Tačka P' se sa snimka projicira kroz projekcioni objektiv O te se njena slika opservacionim sistemom dovodi do okulara O_k . Smjer zrake iz prostora projektor-a nastavlja se u prostoru modela mehanički pomoću štapa do rekonstruiranog presjeka P .

Prigodom fotoizmjere opserviraju se kod mehaničke i optičko-mehaničke projekcije sami snimci (v. sl. 22 i 23), a kod optičke

je snop zraka (vidljivo na sl. 25). Svaka je zraka geometrijsko mjesto tačaka koje mogu predstavljati rekonstruirani položaj pripadne tačke. Da bi se moglo odrediti koja od tačaka zrake predstavlja stvarni rekonstruirani položaj tačke, potrebno je još jedno geometrijsko mjesto tačaka. Kod ravnih ili približno ravnih predmeta, npr. horizontalnog zemljišta, to drugo geometrijsko mjesto može biti dano npr. ravninom objekta, predmeta. Npr.,

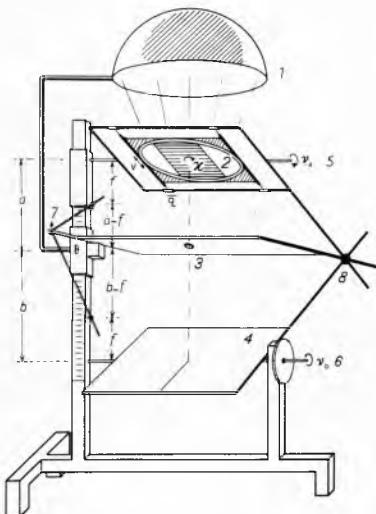


Sl. 25. Prevođenje snimka iz kose u vertikalnu perspektivu

na sl. 25 ravnina je objekta *presječna ravnina* za rekonstruirani vanjski snop zraka; njome je dano drugo geometrijsko mjesto odjednom za čitavo polje tačaka.

Ravni predmet može se, dakle, rekonstruirati iz jednog snimka presijecanjem rekonstruiranog snopa zraka povoljno položenom ravninom i tako dobiti predodžbu, odn. plan tog predmeta. Zadatak se sastoji u preslikavanju jedne ravnine u drugu: prva ravnina je ravnina snimka, a druga je ravnina neka specijalna ravnina, najčešće horizontalna ravnina, rjede vertikalna ravnina (npr. fasada neke zgrade) ili ravnina snimljenog predmeta.

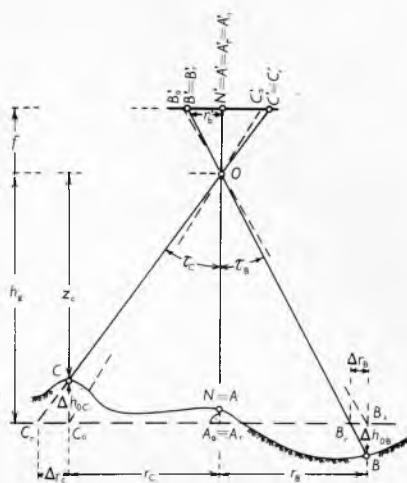
U (aero)fotogrametriji dobiva se plan praktički ravnog terena *redresiranjem* snimka, tj. njegovim prevođenjem u perspektivu strogo vertikalnog snimka (sl. 25). Instrument ili aparat koji služi u tu svrhu zove se *redreser*. Najvažniji su redreseri s objektivno optičkom projekcijom (sl. 26) na kojima se jednom kratkom



Sl. 26. Shema jednoosovinskog objektivno-optičkog redresera. 1 Rasvjetni uredaj (u ovom slučaju šuplje metalno eliptično zrcalo), 2 negativ, 3 objektiv, 4 ekran (projekcionalna ravnina); 5 i 6 nagibne osovine za 2 i 4; 7 i 8 inverzori (mekhanizmi koji osiguravaju automatsku oštrinu projekcije); b, a, vb, va, x, v, q orijentacioni elementi

eksponažom (~ 1 min) i kasnjom fotoobradom za čitavu površinu obuhvaćenu formatom snimka dobiva u fotografском obliku plan koji se naziva *fotoplan*. Iako preveden u perspektivu strogo verti-

kalnog snimka, fotoplan je u područjima izvan nadira koja (visinski) odstupaju od razine redresiranja (praktički: od srednje razine snimljenog područja) opterećen položajnim pogreškama (pomicima) radijalnim u odnosu prema nadiru N (sl. 27), u kojoj se



Sl. 27. Položajne pogreške redresiranja uslijed visinskih razlika zemljišta

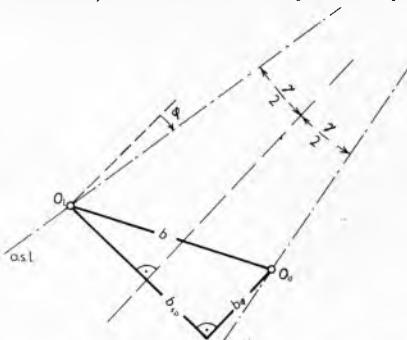
jedinoj tački zraka ortogonalne projekcije poklapa sa zrakom centralne projekcije, pa tu ne može biti razlike između njenog položaja na geodetskom planu i na fotoplantu. Razlog je tome što je fotografski snimak rezultat centralne projekcije, pa se viši predjeli, tj. predjeli bliži aerokameri, preslikavaju u krupnijem mjerilu nego niži. Korektan geodetski plan je, međutim, ortogonalna projekcija s vertikalnim zrakama projiciranja, pri čemu se, npr., tačka C projicira u C_0 , a ne u C_r . Sukcesivnim otiskivanjem ili fotografskom registracijom optički rekonstruiranog presjeka zraka moguće je danas ove razlike (praktički) eliminirati (v. poglavje Automatizacija na projekcionim stereoinstrumentima) i time dobiti fotoplan koji u geometrijskom pogledu ne predstavlja centralnu već ortogonalnu projekciju (umanjenog) terena s vertikalnim zrakama (v. str. 594) i koji nazivamo *ortofotoplan*.

Ako se, pak, neredresirani snimci nadovežu jedan do drugog, uklonivši na jednom preklopni, zajednički dio sa susjednim snimkom, i lijepljenjem na podlogu montiraju u jednu cjelinu, dobiva se plan koji se zove *asamblaž* ili *fotomozaik*, kod kojeg treba računati s većim neslaganjem na priključnim rubovima.

Izmjera parova snimaka

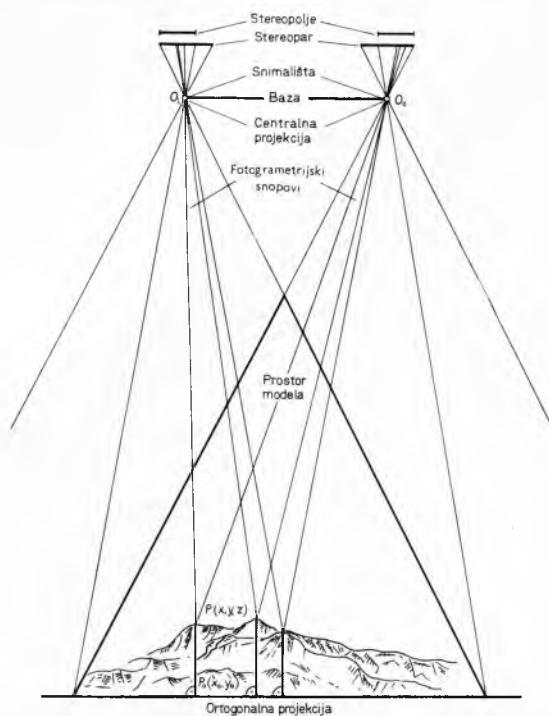
Prostorno određivanje. Kod rekonstrukcije prostornog trodimenzionalnog predmeta, npr. brdovitog zemljišta, sve tačke rekonstruiranog predmeta ne nalaze se, dakako, u jednoj ravnini. Da bi se u ovom slučaju došlo do drugog geometrijskog mesta tačaka na kojem se nalazi neka mjerena tačka, mora se takav teren, odn. objekt, snimiti stereoskopski, sa dva snimališta (v. sl. 21) i predmet rekonstruirati s pomoću dobivenog stereopara.

Projekcija razmaka između dva snimališta (baze snimanja b) na smjer osi snimanja naziva se *zakretajnom komponentom baze*



Sl. 28. Zakretajna i stereoparalaktička komponenta baze

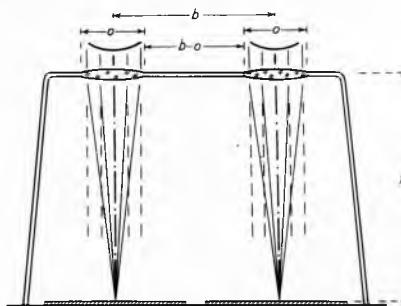
snimanja b_φ , a projekcija okomita na taj smjer, stereoparalaktičkom komponentom baze snimanja b_s (sl. 28). Pojas zajednički pojedinačnim snimcima stereopara naziva se *stereopolje* (sl. 29), a prostor zajednički objema rekonstruiranim snopovima *prostor modela*.



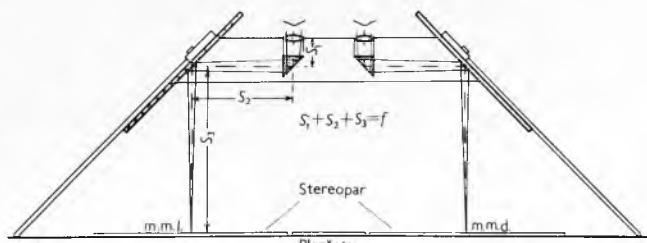
Sl. 29. Stereosnimanje-stereoizmjera na projekpcionom stereoinstrumentu

Stereoskopsko promatranje i identifikacija pridruženih tačaka na stereoparu. Pogodnim uređajem može se postići da se stereopolje lijevog snimka promatra samo lijevim okom, a stereopolje desnog snimka samo desnim okom. Taj je uređaj redovito dvostruki durbin koji se naziva *stereoskop*. Ako su snimci, odn. njihove slike, pruženi očima tako da se lijeva i njoj pridružena desna nuklearna zraka nalaze u istoj nuklearnoj ravnini promatranja (položenoj kroz spojnicu obaju naših oka), i ako su ispunjeni fiziološki opservacioni uvjeti, nastaje u našem zapažanju osjet *subjektivnog optičkog modela* snimljenog područja, (sl. 38.) tj. zapaža se snimljeno područje prostorno u svim trima dimenzijama.

Normalni stereoparovi manjeg formata mogu se promatrati stereoskopski najudobnije kroz *normalni stereoskop* (sl. 31), u kojem je baza promatranja b jednaka srednjem razmaku očiju, a optičke osi su paralelne i pravocrte. Takvim promatranjem stereopar se iz svog materijalnog položaja (u žarišnoj ravni okulara) optički prebacuje u neizmjernost, gdje se pri normalnom stereoparu sijeku optičke osi, odnosno oba pogleda. Time je akomodacija fiziološki prilagodena konvergenciji pogleda. Fotogrametrijski snimci su, međutim, većeg formata. Da se oni ne bi među sobom prekrivali, treba ih promatrati kroz *stereoskop s povećanom bazom* i slomljenim optičkim osima (sl. 32, v. i sl. 38.), u kojemu su snimci jedan od drugog više razmaknuti.



Sl. 31. Optički odnosi pri promatranju stereopara kroz normalni stereoskop



Sl. 32. Shema složivog zrcalnog stereoskopa s bazom povećanom za $2 S_2$

Stereoskopsko snimanje i stereoskopsko promatranje omogućuju da se napravi plan u fotografiskom obliku koji omogućuje prostornu, trodimenzionalnu predodžbu. To je *stereofotoplan ili anaglifski plan* (v. i članak *Deskriptivna geometrija*, TE 3, str. 229).

Na stereofotoplantu obje su stereoslike nanesene tiskarski ili fotografiski jedna preko druge u različitim, međusobno komplementarnim bojama (crveno i zelenoplavo). Promatranjem ovakvog skupljenog stereopara kroz naočale koje imaju stakla različito obojena, i to u istim komplementarnim bojama u kojim su tiskane ili kopirane stereoslike na stereofotoplantu (ali tako da je lijevo staklo boje desne slike, a desno staklo boje lijeve slike), dolazi u lijevo oko samo lijeva slika, a u desno samo desna, pa se sa oba oka vidi predmet prostorno i sive boje (anaglifski postupak).

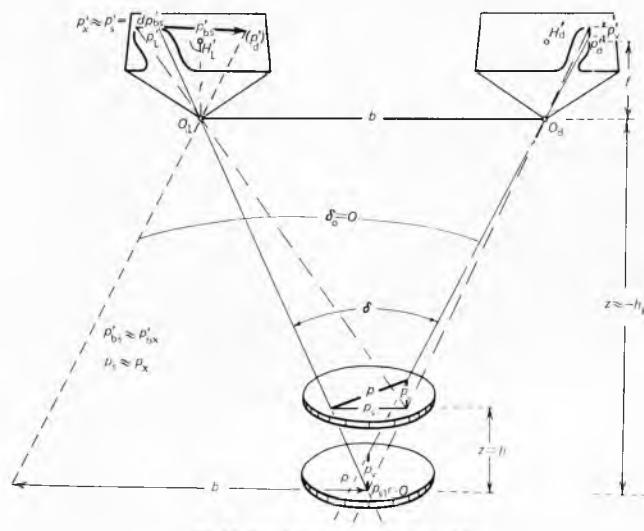
Stereoskopsko promatranje može se iskoristiti za prostornu fotogrametrijsku izmjedu (stereoskopsku izmjedu). U tu je svrhu u svaku polovicu stereoskopa uključena i po jedna *mjerna marka*, koja ima analognu ulogu kao nitni križ u geodetskom durbinu, tj. pomoću nje se vizira mjerena tačka snimka. Zajedno sa snimljennim područjem, u stereoskopu se stereoskopski promatra mjerna marka. Prigodom izmjere ona mora biti stereoskopski koincidirana s promatranim subjektivno optičkim modelom, tj. mora ostavljati utisak da se nalazi na površini tog modela, a da niti nad njim lebdi, niti je u njemu uronjena. U tom slučaju mjerna marka definira na lijevom i desnom snimku *identičnu* tačku snimljenog predmeta. Fotogrametrija koja se koristi ovakvom stereoskopskom identifikacijom zove se *stereoskopska fotogrametrija*.



Sl. 30. Uzdužno preklapanje aerosnimaka

Stereopolje na stereoparu omogućeno je time što se suksesivni snimci jednog niza snimaka u svom obuhvaćanju terena preklapaju. Kod približno vertikalnih aerosnimaka to *uzdužno preklapanje p* iznosi 60...70% (sl. 30), da bi se sa sigurnošću izbjegle stereoskopske praznine, tj. predjeli koji nisu zahvaćeni na bar dva snimka. Da bi se izbjeglo da neki predjeli (između nizova) ne budu zahvaćeni ni na jednom nizu, snimanje se vrši s *poprečnim preklapanjem nizova q* = 20...30%. Povezujući susjedne nizove snimaka dolazimo do *bloka snimaka*.

Paralakse. Uslijed toga što su snimališta pri stereoskopskom snimanju razmaksnuta (za duljinu baze) položaj iste tačke stereopolja nije ni kod normalnog stereopara na lijevom i desnom snimku isti. Relativna promjena položaja tačke na desnom snimku prema položaju iste tačke na lijevom snimku naziva se *paralaksa* (p'_{bs} na sl. 33). Ona je (uglavnom) paralelna s bazom, a kako je ova, bar približno, paralelna s osi X , vrijedi $p'_{bs} \approx p'_{bx}$; zbog toga što uvjetuje stereoskopski efekt, naziva se *stereoparalaksom*. Iznos stereoparalakse prilikom stereoskopske izmjere određuje dubinu



Sl. 33. Paralakse na snimku i modelu

doticne tačke u prostoru (modelu). Paralaksa p'_{bs} je »uklonjena« kada je lijeva i desna mjerne marka projicirana na lijevi odn. desni snimak koincidirana sa slikom identične tačke. To je moguće postići za cijelo stereopolje samo kad je ispravna (unutarnja i) relativna orientacija. Ako ta orientacija nije ispravno uspostavljena, pojavljuje se i komponenta paralakse okomita na stereoparalaksu (u ravnini snimka p'_v , a u modelu p_v paralelno sa p'_v); ta se komponenta naziva *transverzalnom paralaksom* (vertikalparalaksom). Ona kvari stereoskopski efekt (kaže se da vertikalparalaksa nije sasvim uklonjena, da »ima još (vertikal)-paralakse«).

Ispravna relativna orientacija se redovito i postiže sistematskim postupkom za uklanjanje transverzalnih paralaksa diljem modela [kod optičke projekcije snimaka (sl. 33), kod koje transverzalna paralaksa predstavlja iznos mimoizlježenja pridruženog para (rekonstruiranih zraka), odnosno diljem stereopolja [kod mehaničke (v. sl. 22, i optičko-mehaničke projekcije (v. sl. 23)].

Relativnim pokretom lijeve i desne mjerne marke prema lijevom i desnom snimku treba ukloniti paralaksu p'_{bs} i p'_{bx} izazvanu duljinom baze (sl. 33). To se pri (stereoskopskoj) izmjeri čini s nekom pogreškom $dP'_{bs} = p'_s \approx p'_x$, koja se u fotogrametrijskoj aktivnosti također naziva (stereo) »paralaksom«. Paralaksi $p'_s \approx p'_x$ odn. p'_v na snimku, odgovara u prostoru modela (na predmetu ne može biti paralaksal) pridružena paralaksa $p_s \approx p_x$, odn. paralaksa p_v . Paralakse na modelu, dobivenom iz (približno) vertikalnih snimaka, $z : f$ puta su veće od pridruženih paralaksa na snimku, pri čemu je *z stereoprojekciona duljina*, tj. udaljenost tačke predmeta od projekcionog središta, projicirana na vertikalu (aplikata tačke).

Komponenta paralakse p'_v uklanja se mijenjajući unutarnju i, prvenstveno, relativnu orientaciju. Ako ona prelazi stanoviti iznos, osjeća se kao smetnja u stereoskopskom promatranju. Paralaksa $p'_{bs} \approx p'_{bx}$ otklanja se prigodom stereofotogrametrijske izmjere mijenjajući stereoprekpcionu daljinu. Pogrešku tog otklanjanja označujemo sa $dP'_{bs} = p'_s \approx p'_x$, a na modelu ona se očituje kao paralaksa $p_s \approx p_x$. Ako ona prelazi stanoviti iznos, osjeća se kao odstupanje po dubini mjerne marke od zapažanog modela.

Kod optičke projekcije s faktičkim presjekom pridruženih parova zraka, lijeva i desna mjerna marka fuzionirane su u jednu jedinu marku, koja se nalazi na modelu, u središtu kružnog ekrana na sl. 33. Razmak p između lijeve i desne projekcije (totalna paralaksa) sastoji se od komponente $p_s \approx p_x$, koja se

može ukloniti promjenom d projekcione duljine ($p_{s1} = 0$ na sl. 33), i komponente p_v , koja se može ukloniti samo promjenom relativne orientacije ($p_{v1} \neq 0$).

Stereoskopska izmjera. Orientacijom snimka uspostavljeni su pravilni geometrijski odnosi kao preduvjet za ispravnu fotogrametrijsku izmjерu (fotoizmjерu), a identifikacijom tačke na lijevom i desnom snimku osigurava se da se mjeri tačka koja se nalazi upravo na terenu, a ne možda iznad ili ispod njega. Ispravna (unutarnja i vanjska) orientacija dovoljan je uvjet za izmjeru pojedinačnih fotograma, a za izmjeru stereoparova u stereofotogrametriji mora biti još ispunjen uvjet identifikacije mjerene tačke. Najbrži, najudobniji, najtačniji i najčešće primjenjiv način identifikacije je stereoskopska koincidencija: ona se može primijeniti i za izmjeru terenâ koji posjeduju svoju strukturu, a ne sadržavaju markantnih pojedinosti (npr. za izmjeru pješčara, livadâ).

Stereoinstrumenti

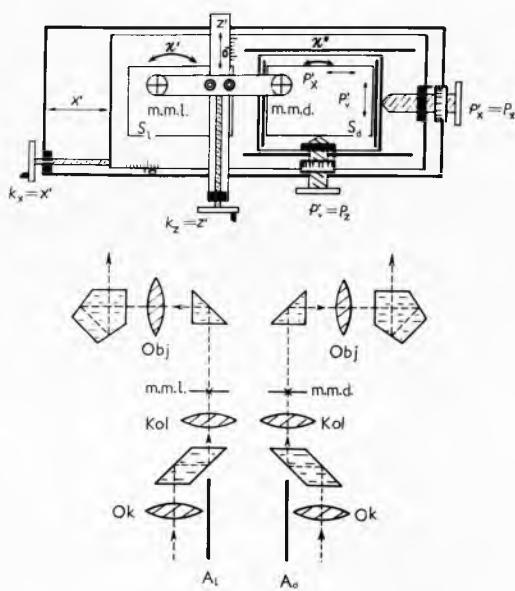
Stereoskopska izmjera vrši se na instrumentu koji se zove stereoinstrument. U tu se svrhu mogu mjerne marke pomicati relativno prema snimcima, a i desna mjerena marka relativno prema lijevoj. Svim je stereoinstrumentima zajedničko da se sa stereoskopskom koincidencijom mjerne marke s promatranim subjektivno optičkim modelom *automatski* (sinhrono) postiže i mjeri postav za mjerenu tačku.

Prema tome da li se tim mjernim postavom dobivaju slikovne koordinate ili direktno zemljopisne koordinate, dijele se stereoinstrumenti na *neautomatske*, *poluautomatske* i *automatske*.

Ako fotoizmjeri na nekom stereoinstrumentu nije vezana na neke odredene uske uvjete za relativnu i vanjsku orientaciju, te je instrument predviđen i osposobljen za svaku orientaciju koja praktički dolazi u obzir, takav se stereoinstrument zove *univerzalan stereoinstrument*. U protivnom slučaju radi se o *specijalnim stereoinstrumentima*.

U fotoizmjeri mogu se mjeriti bilo sami snimci (fotogrami) bilo njihove projekcije. Ta razlika ne može se učiniti osnovom klasifikacije stereoinstrumenta jer se na mnogim stereoinstrumentima opserviraju sami snimci, a mjeri model koji nastaje njihovom projekcijom (v. sl. 22). U daljem izlaganju prikazat će se stereoinstrumenti klasificirani prema načinu prostornog određivanja snimljenog područja.

Stereoinstrumenti za izmjeru slikovnih koordinata. U stereoinstrumente kojima se snimljeno područje prostorno određuje izmjerom slikovnih koordinata spadaju (stereo)komparator, radikaltriangulator i fotogoniometar.



Sl. 34. Stereokomparator. m.m. Mjerena marka, Obj objektiv, Ok okular, Kol kolektor, p_x stereoparalaktički vijak za relativni x -pomak desnog snimka prema lijevom, P_z vertikalparalaktički vijak za relativni z -pomak desnog snimka prema lijevom, \times zakretanje snimka u njegovoj ravnini

Na stereokomparatoru (sl. 34) dobivaju se stereoskopskom koincidencijom pravokutne slikovne koordinate mjerene tačke u koordinatnom sistemu snimka, a taj je definiran *rubnim markama*, koje se prigodom snimanja preslikaju ili kopiraju na rub snimka (kod terestričkih se snimaka rubne marke uvijek nalaze po jedna u sredini formata snimka, kao na sl. 17, dok se kod aerosnimaka češće nalaze po jedna u svakom uglu snimka). Središte M' tog koordinatnog sistema mora se podudarati s glavnom tačkom snimka H' , u kojoj optička os probada snimak. Tačka sa snimka preslika pomoću objektiva Obj na mjeru marku m. m.; slika tačke snimka ovako fuzionirana s mjerom markom posmatra se kroz okular Ok. Na osnovu analitičkih odnosa ili pomoći grafičkih konstrukcija slikovne se koordinate prevode u zemljische računskim ili grafičkim postupkom (v. sl. 20). To je prevodenje razmjerno jednostavno samo ako su osi snimanja bile horizontalne, ali elektroničkim računalom mogu se vrlo brzo preračunati slikovne koordinate u zemljische i za slučajeve proizvoljnih orientacija, te za priključivanje stereoparova (aerotriangulaciju), čime je praktički omogućena primjena *analitičke fotogrametrije*.

Na *radialtriangulatoru* dobivaju se iz stroga ili bar približno vertikalnih aerosnimaka polarne koordinate za mjerenu tačku ili bar smjer prema polu, za koji se redovito koristi glavna tačka snimka. Opservacijom ovakvih smjerova na nizu snimaka dobiva se specijalna mreža (rombni lanac, v. sl. 19). Koordinate čvorova te mreže izračunavaju se metodom triangulacije.

Pored tog numeričkog postupka vrlo je raširen mehanički postupak. U tu se svrhu od izmjerena pramena zraka (npr. na Radialssecatoru RS I, sl. 35) izbuši na polučvrstom listu, posebnom za svaki snimak, fragment zrake kroz mjerenu tačku.



Sl. 35. Radialssecator RS I (OFO). 1 Uvid u vidno polje, 2 komanda za radijalni postav, 3 komanda za izrezivanje razreza, 4 perforirani fragment zrake kroz odabranu mjerenu točku, 5 radijani perforator, 6 centralni perforator, 7 šablon, 8 nosač snimka, 9 ekscentar za kompenzaciju utjecaja nadirnog otklona

(Kao takva odabiru se glavne tačke susjednih snimaka, a prema uzdužnim rubovima neki markantni i dobro definirani topografski detalji koji se mogu prepoznati i pronaći u tri uzastopna snimka, v. sl. 19). Perforirani se listovi, koji u daljem postupku u korigiranom (okruglom) mjerilu predstavljaju pojedine snimke, orijentiraju jedan prema drugome tako da bi se izbušeni fragmenti smjerova na proizvoljnu zajedničku izmjerenu tačku sijekli u jednoj tački ili bar zatvarali što manju figuru rasipa. Na to se kroz te presjeku provuku maleni svornjaci i time fiksira blok listova u



Sl. 36. Montaža razreze radjaltriangulacije

jednu cjelinu odredenog (korigiranog) mjerila. Prikirajući kroz šuplje osi tih svornjaka dobivamo položaj svakog čvora na planšeti (*razrezna radialtriangulacija*, sl. 36).

Koordinate snimka mogu biti odredene i prostornim kutnim argumentima (poput geografskog položaja nekog mjesta na zemlji). Fotogram se uloži u kameru kojom je snimljen ili, češće, u projektor koji ima s njom ekvivalentna optička i geometrijska svojstva.

Kutni argumenti opserviraju se posebnim teodolitom kroz objektiv kamere odn. projektila, pri čemu projekciono središte tog objektiva i projekciono središte teodolita (presjecište zakretajne, nagibne i durbinske osi) treba da padnu zajedno (sl. 37). Tom metodom automatski se kompenziraju pogreške prouzročene distorzijom objektiva fotogrametrijske kamere (*Porro-Koppeov princip*). Rotacija oko vertikalne i nagibne osi

očita se, kao i kod teodolita, na limbu okomitom na dotičnu os. Takav se uređaj zove *fotogoniometar*. On je jezgrovi sastavni dio optičko-mehaničkih projekcionih stereoinstrumenata, kao što je stereokomparator jezgrovi sastavni dio Stereoautographa (v. sl. 41), specijalnog stereoinstrumenta za terestričku fotogrametriju.

Na stereoinstrumentima za izmjeru slikovnih koordinata ne dobivaju se dakle zemljische koordinate, već ih treba tek izvesti iz izmjerih slikevih koordinata. Stoga se ti stereoinstrumenti svrstavaju u neautomatske stereoinstrumente.

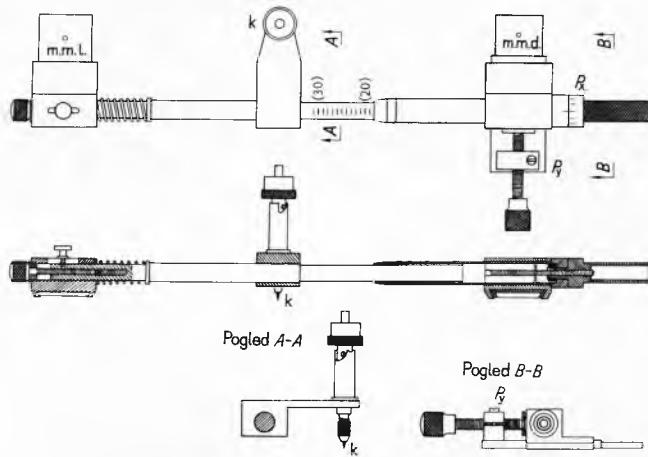
Numerokartografi. Stereoinstrumenti zvani numero kartografi koriste se okološću da se u centralnoj projekciji presjek objekta (zemljišta) paralelan s ravninom snimka preslika na snimak nedeformirano. Prema tome će na vertikalnom normalnom stereoparu, kojemu oba snimka leže u istoj razini, slojnjica biti prikazana nedeformirano, pa se promatrajući kroz stereoskop njen oblik preuzima s jednog (na sl. 38 lijevog) snimka paralelnim pomaknu-



Sl. 38. Složivi ogledalni stereoskop s kartirajućim stereometrom

tim precrtyavanjem s pomoću *stereoparalaktičkog mikrometra* (stereometra), koji se stavlja preko promatrancog stereopara (sl. 38 i 39). U tu svrhu su stakalce s lijevom mjerom markom m. m. 1. i crtaljka k koja vrši kartiranje montirani na osovinu stereometra u kratoj vezi jedno s drugom. Na istoj osovinu montirano je i stakalce s desnom mjerom markom m. m. d., ali tako da mu se za vrijeme kartiranja može udaljeno od lijeve mjerne marke mijenjati s pomoću mikrometra P_x . Udaljenost lijeve mjerne marke od crtaljke namjesti se prigodom orientacije i za vrijeme stereo-

izmjere se ne mijenja. Razmak između desne mjerne marke i lijeve (paralaktički postav) mijenja se prigodom izmjere, slijedeći paralaktičke razlike sucesivno mjereneih tačaka.

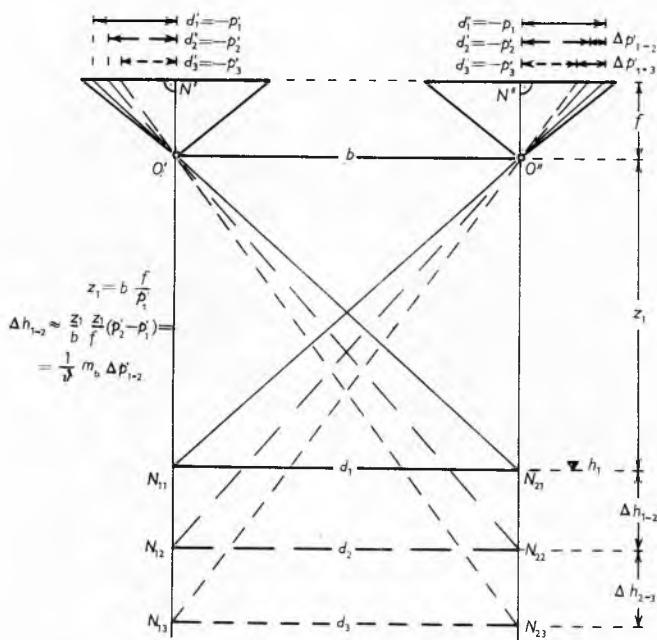


Sl. 39. Shema stereometra Zeiss-Aerotopograph (OFO)

Kod nekih numerokartografa (npr. Stereotopa, OFO) razmak između desne i lijeve mjerne marke je fiksan, a stereoparalaktički mikrometar djeluje na desni snimak i pomici ga relativno prema lijevom.

Jednakoj udaljenosti terena od navedene horizontalne ravni snimka odgovara kod vertikalnog normalnog stereopara i jednaka (stereo)paralaksa, a time i jednaka udaljenost lijeve od desne mjerne marke. Stoga će slojnice biti određena kontinuiranom stereoskopskom koincidencijom pri nemijenjanom, konstantnom paralaktičkom postavu na mikrometru.

Svakoj slojnici odgovara, s obzirom na različite udaljenosti od kamere, drugo mjerilo snimanja, pa se iz razlike pomaka desne slojnice prema lijevoj s obzirom na neku osnovnu (nultu) slojnicu h (na slici 40 je $h \equiv h_1$; na toj slici pretpostavljene slojnice idu od jednog nadirnog presjeka do drugog), tj. iz paralaktičkih razlika ($\Delta p'_{1-2}$, $\Delta p'_{1-3} \dots$), izračunavaju visinske razlike (Δh_{1-2} , $\Delta h_{1-3} \dots$).



Sl. 40. Odnos stereoparalaktičkih i visinskih razlika kod normalnog vertikalnog stereopara

Na analogan način vrši se i kartiranje situacije, samo što pri tom (nadmorska) visina ne ostaje fiksna, pa treba kontinuirano dotjerivati paralaktički postav.

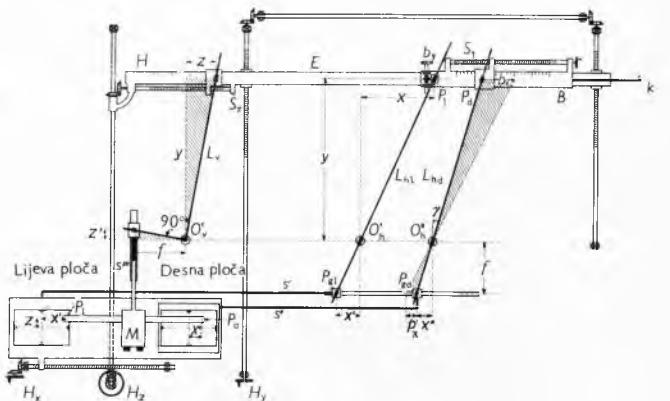
Na numerokartografima dobiva se stereoskopskom koincidencijom mjeri postav koji sadrži automatsko (sinhrono) kartiranje situacije i slojnice, dok visinske razlike treba izračunati iz paralaktičkih, koje se dobivaju iz odgovarajućih očitavanja na stereoparalaktičkom mikrometru. Oni prema tome spadaju u poluautomatske stereoinstrumente. Neki najnoviji numerokartografi imaju ugrađena računala za visinske razlike, te se s pomoću njih sinhrono dobivaju i visine; takvi su numerokartografi, dakle, automatski.

Projekcioni stereoinstrumenti. Kod projekcionih stereoinstrumenta zrake originalnog snopa koji je izazao sliku predmeta na snimku rekonstruiraju se optički, mehanički ili optičko-mehanički (v. str. 587). Snimak se stavlja u *projektor*, te se pomoću rekonstruiranih zraka projicira kroz projekciono središte projektora. Tako rekonstruirani unutarnji snop zraka prelazi kroz projekciono središte u rekonstruirani vanjski snop zraka. Projektor ima jednaku unutarnju orientaciju kao i kamera kojom je dobiven dočni snimak (stereopar), pa je rekonstruirani vanjski snop zraka kongruentan s vanjskim snopom zraka kod snimanja. To je pak preduvjet za to da se relativnom orientacijom dvaju ovakvih rekonstruiranih snopova dovedu (*dvostrukom projekcijom*) svi parovi pripadnih (pričvršćenih, homolognih) zraka do presjeka. Skup tih presjeka daje *objektivan model* snimljenog zemljишta (v. sl. 18 i 29). Model je cjelina međusobno orijentiranih detalja jedinstvenog mjerila; on ima iste oblike kao snimljeni predmet, ali su mu dimenzije smanjene u *mjerilu modela*, M_m , koje je, prema tome, jednako omjeru bilo koje dimenzije modela naprama pričvršćenoj naravnoj veličini, npr. baza na modelu naprama bazi snimanja. Model treba, mijenjajući veličinu rekonstruirane baze snimanja, svesti na željeno (okruglo) mjerilo, a nagibajući projekcioni sistem kao cjelinu treba model horizontirati, tj. dovesti njegove slojnice u paralelan položaj s tlocrtom ravninom stereoinstrumenta. Time je model i apsolutno orijentiran.

Apsolutno orijentirani model može biti podvrgnut prostornoj (polozajnoj i visinskoj) izmjeri, koja se naziva *restitucijom*, *fotogrametrijskim premjerom* ili *fotopremjerom*. U vezi s tim izrazom naziva se opervator koji na stereoinstrumentu vrši fotoizmjeru *restitutorom*.

Kod projekcionih stereoinstrumenta dolazi najzornije do izražaja svrha prostorne fotogrametrije (stereofotogrametrije) uopće: da iz dvije centralne projekcije snimljenog predmeta (zemljишta) izvede jednu kotiranu ortogonalnu, redovito horizontalnu, projekciju, tj. situaciju i konfiguraciju, jer je kod njih to postignuto direktno inverznom fizikalnom imitacijom procesa snimanja (uspore, npr. sl. 21). Projekcioni stereoinstrumenti su stoga i *analogni* stereoinstrumenti.

U projekcionim postupcima rješava se zadatak prostorne izmjere ili direktnim prostornim presjecanjem naprijed (v. sl. 21) ili time što se presjek u prostoru projicira u dvije medu sobom okomite ravnine od kojih je jedna položena bazom, a druga okomito na bazu. Kod specijalnih stereoinstrumenta za terestričku fotogrametriju, kao što je Stereoautograph CZJ (sl. 41), prva je



Sl. 41. Shema Stereoautographa (ZAJ)

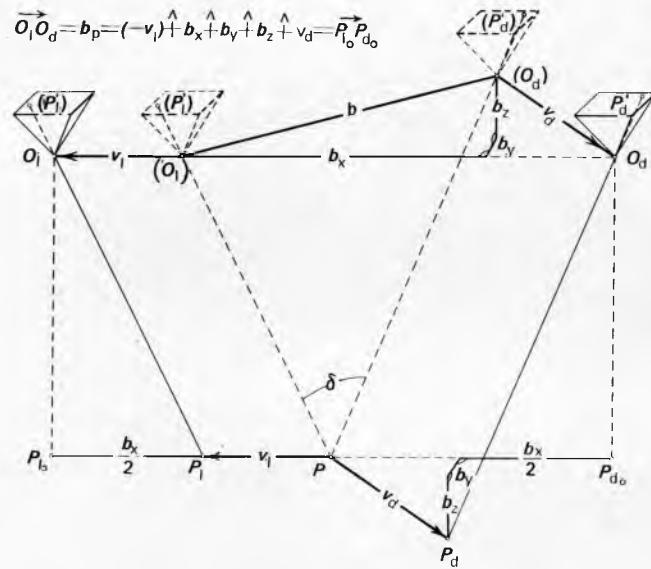
ravnina horizontalna a druga vertikalna (idejno, tj. instrument crta projekcije u istoj ravnini, kao tlocrt i bokocrt); kod stereoinstrumenta za aerofotogrametriju obje su ravnine (idejno) vertikalne. Kod optičke rekonstrukcije dolazi u obzir samo prostorni presjek naprijed, kod mehaničke i optičko-mehaničke rekonstruk-

cije i prostorni i projicirani presjek, a kod grafičke (v. sl. 20) i numeričke samo projicirani presjek naprijed.

Odredenost tog presjeka naprijed to je bolja što je povoljniji bazinski omjer $b : h_g$ (v. sl. 33), tj. omjer baze prema udaljenosti mjerene tačke od ravnine snimka. To ne dolazi do izražaja samo kod numeričkog i grafičkog postupka, kao što je to poznato iz geodezije, već i kod stereoizmjere, jer time stereoskopska koincidenca postaje sigurnija.

Stereograph (sl. 41), prvi automatski stereoinstrument, izradila je 1909 firma Carl Zeiss, Jena, po ideji von Orela. Jednadžbe za horizontalni normalni stereopar kojima se prelazi od slikovnih koordinata x', x'', z' , odn. z'' na zemljisne koordinate y, x , odn. z , rješavaju se mehanički pomoći tlocrtnih lineala L_{bh} i L_{bd} i pomoći nagibnog lineala L_v , koji predstavlja projekciju u bokocrtnu ravninu okomitu na bazu. Taj sistem lineala predstavlja, u stvari, mehaničko analogno računalo. Jezgrovni dio instrumenta, na kojem se vrši stereoskopska koincidenca i određuju slikovne koordinate, (stereokomparator), smješten je lijevo dolje. Ovisnost smjera horizontalne projekcije lijeve i desne zrake o apscisi x' odn. x'' , te ovisnost bokocrtne lijeve zrake o ordinati z' , postignuta je motakama s', s'' i s''' . S mogućnosti postava bazisne komponente b_y , odn. preloma lineala L_{hd} u projekcionom središtu O_h za kut γ , instrument je osposobljen i za horizontalni paralelni zakrenuti i za horizontalni konvergentni stereopar.

Iz konstruktivnih razloga i radi mogućnosti priključivanja niza fotograma (snopova) u aeropoligonizaciji sa samo dva projektoru, zatim da bi se mogli primjenjivati kako aerofotogrami tako i terestrički fotogrami, i takoder iz nekih drugih razloga, kod nekih stereoinstrumenta (kod najkvalitetnijih redovito) faktički presjek rekonstruiranih zraka izbjegnut je paralelnim odmakom desne i lijeve projekcije (konstrukcija *Zeissovog paralelograma*), čime se tačka presjeka P rastavlja u dvije »polutačke« P_1 i P_d (sl. 42).

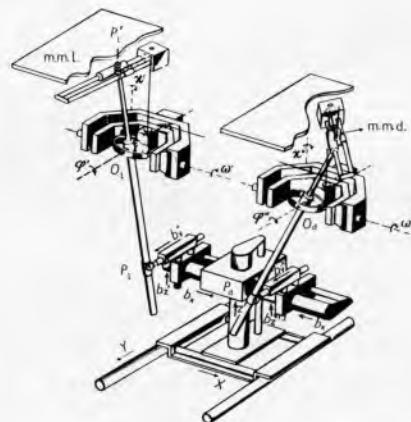


Sl. 42. Shema Zeissovog paralelograma

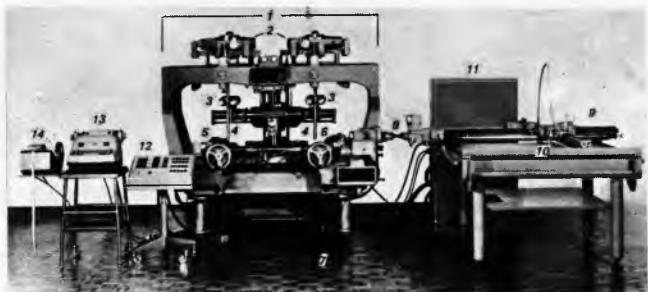
Projekciona središta (O_l) i (O_d), kojima medusobni položaj ovisi o veličini baze snimanja, omjeru bazisnih komponenata $b_x : b_y : b_z$ i mjerilu modela, premještaju se u fiksne položaje O_l i O_d . Lijevi i desni projektor vektorski se pomaknu za dužine v_l i v_d ; da bi rekonstruirana lijeva i desna zraka zadržale pri tom svoj smjer i duljinu, mora se tačka P rekonstruiranog presjeka (tačka modela) rastaviti pomoći istih vektorskog pomaka v_l i v_d u dvije polutačke P_1 i P_d . Svaka od njih opisuje prigodom restitucije svoju plohu modela; te su dvije plohe, međutim, sulkadne i paralelne. Za (nestereoskopski) nulti slučaj da je baza b_z jednaka nuli (tj. kad su napravljena dva snimka s istog snimališta) smjer i duljina lijeve i desne zrake bili bi isti, te bilježi u desnu polutačku došle u uglove Zeissovog paralelograma P_1 i P_d . Iz tih nultih polutačaka nanosi se na takvim stereoinstrumentima baza, i to njenja glavna komponenta b_x simetrično radi bolje raspodjele mase. Ako se sporedne bazisne komponente b_y i b_z mogu nanjeti i lijevo i desnoj polutački (kao na instrumentima sl. 43 i 45), takav je stereoinstrument osposobljen za direktno priključivanje snimaka istog niza (aeropoligonizaciju, v. sl. 18).

Autograph A7 i Stereoplanigraph C8 tipični su primjeri primjene Zeissovog paralelograma: u prvom slučaju, tj. kod mehaničke projekcije, lijeva i desna polutačka nalaze se u središtu donjeg kardana, tj. kardana tuljca kroz koji klizi vanjski završetak štapa; u drugom slučaju, tj. kod optičke projekcije, te su polutačke središta kardana zrcala kojim središta na zrcalima odgovaraju ugravirane mjerne marke.

Autograph A7 (sl. 43 i 44)) univerzalni je stereoinstrument s mehaničkom projekcijom. Y -kolica, X -kolica i Z -kolica (bazisni most koji klizi po Z -stupu)



Sl. 43. Shema Autographa A7 (Wild)



Sl. 44. Oprema projekcionog stereoinstrumenta Autographa A7 (Wild). 1 stereoinstrument, 2 projektori, 3 polutačke modela, 4 stupovi — materijalizirane rekonstruirane zrake, 5 lijevi ručni kotač za X -pokret polutačke modela, 6 desni ručni kotač za Y -pokret polutačke modela, 7 pedalni disk za Z -pokret polutačke modela, 8 kardanske osovine za prijenos X - i Y -pokreta od stereoinstrumenta na koordinatograf, 9 crtaljka za kartiranje, 11 telefona za memoriranje koordinata i za programiranje njihove registracije, 12 komandni pult za registraciju koordinata, 13 teleprinter za registraciju koordinata u jasnom pismu, 14 perforator za registraciju koordinata u kodiranom pismu

nose polutačke modela P_1 i P_d ; klizanjem b_x , b_y i b_z -saonica namješta se baza, a time i linearni orijentacioni elementi, u mjerilo modela (v. sl. 42); w , φ i κ su orijentacioni elementi. Lijevi i desni projektori, kao i lijevi i desni štap, kardanski su montirani u projekcionim središtima O_l i O_d . Uvizirana tačka P' na snimku preslikava se pomoći objektivačima na mjeru marku m. m. Optička os objektivača okomita je na ravninu snimka, a u toj okolini kroz P' nalaze se i mjeru marka m. m. i kardanski montirani nutarnji (gornji) kraj štapa. Prijelaz viziranja od P' na neku drugu tačku snimka izvodi se mijenjanjem polarnih argumenta kao na sl. 22. Pokretanje Y -, X - i Z -kolica pomoći ručnim kotačima, odn. pedalnog diska (6, 5, odn. 7, na sl. 44) dirigira se položaj polutačaka P_1 i P_d (vanjski kardani štapi; 3 na slici) u prostoru modela. Pri tom se u obrnutom smjeru od Y - i X -pokreta pokreće mjeru marka m. m., koja ostaje u ravnini i geometrijskom položaju tačke snimka, paralelnoj s ravninom snimka. Gornji kraj štapa povlači sa sobom mjeru marku m. m.

Stereoplanigraph C8 prikazan je na sl. 45.

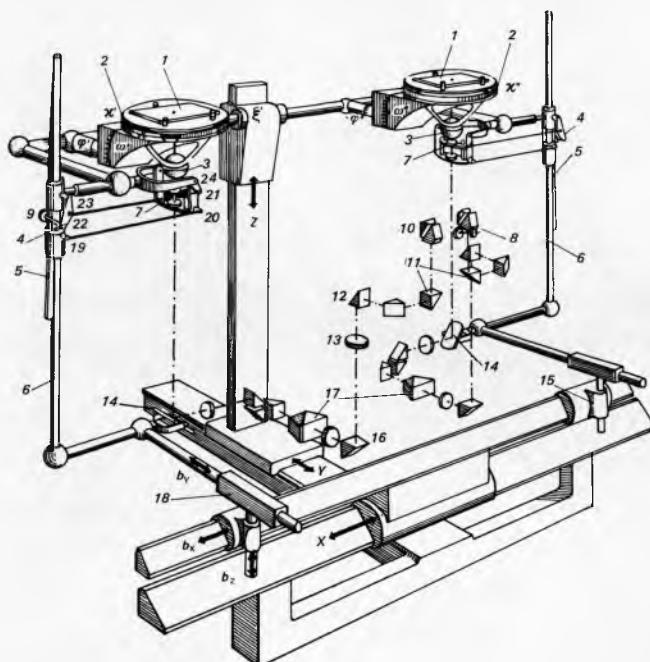
To je univerzalni stereoinstrument s optičkom rekonstrukcijom zraka i primjenjenjem Zeissovim paralelogramom. On je upotrebljiv ne samo za približno normalne stereoparove, bilo aerosnimaka bilo terestričnih snimaka, već i za stereoparove koji jače odstupaju od normalnog slučaja. Optička projekcija je izostrena za proizvoljnu stereoprojekciju daljinu zahvaljujući »predsistemu« ovješenom ispod projekcionog objektiva.

Visina presjeka homolognog (pripadnog, pridruženog) para rekonstruiranih zraka u modelu može se kod projekcionog stereoinstrumenta (redovito) direktno pročitati na visinskom brojilu ili razmerniku stereoinstrumenta; situacioni (tlocrtni) pomaci, pak, prenose se automatski i sinhrono na kartirajuću crtajku (v. 10 na sl. 44). Pri tom prenosu poseban mijenjač ili pantograf prevodi mjerilo modela u mjerilo kartiranja.

Vodi li se pri fiksiranoj visini mjeru marka po površini promatranoj modela apsolutno orijentiranog stereopara, crtajka automatski i sinhrono kartira pripadnu slojnicu; slijedeći pak mjerom markom situacione linije u svim dimenzijama, dobiva se automatski kartirana situacija. Projekcioni stereoinstrumenti su dakle automatski stereoinstrumenti.

Pored grafičke registracije tlocrta u obliku kartiranja, kod mnogih projekcionih stereoinstrumenta (onih tzv. I reda) mogu se i čitati tlocrte koordinate na posebnim koordinatnim brojilima, a kod nekih najvrstnijih i najnovijih stereoinstrumenta one se mogu registrirati time što se otkucaju u manual posve mehanički pritiskom na jednu polugu, ili električki time što se pritiskom na

dugme, koje se nalazi na komandnom uređaju (v. 12 na sl. 44), impuls sa vretenâ koja pokreću rekonstruirani presjek zrakâ u prostoru modela odašljju k teleprinteru (13), bušaču (perforatoru, 14) ili jedinici magnetske trake. U prvom slučaju koordinate se registriraju otiskivanjem u „otvorenom“ (nekodiranom, nešifranom) pismu, a kod električnog moguća je povrh toga i registracija u obliku bušenih (perforiranih) vrpcâ, bušenih (perforiranih) kartica i magnetskih vrpcâ. Podaci u potonja tri oblika mogu se uvesti u elektronički računski stroj, koji je npr. programiran za transformaciju fotogrametrijskih koordinata (u sistemu s apscisnom osi u horizontalnoj projekciji srednjeg smjera leta) u zemljische (geodetske, npr. u Gauss-Krügerovoj projekciji). Elektroničko računalno podvrgava te podatke transformaciji i izbaci u najkraćem vremenu rezultate u navedenim oblicima.

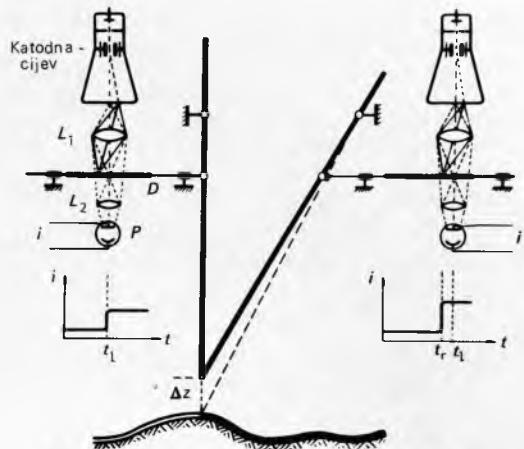


Sl. 45. Stereoplanigraph C8 (OFO), univerzalni stereoinstrument s optičkom projekcijom. Projekcijski sistem: 1 snimak, 2 nosač snimka, 3 projekcijski objektivi; 4-7, 9, 19-24 uredaj za izoštravanje optičke projekcije na 14; orijentacioni elementi: ξ , φ , ω , x , y , b_x , b_y , b_z ; 15 maticice za bazinske komponente b_y , odn. b_z ; modelni koordinatometar: 14 kardanski montirano zrcalo s ugraviranim mernom markom koja je ujedno i polutacka modela; X, Y, Z relativni pokreti polutacka modela prema projekcijskom sistemu; opservacioni sistem: 8 (okular) - 10-11-12-13-16-17-14 (merna marka)

Kao što se moglo razabrati iz njihova opisa, projekcijski stereoinstrumenti imaju ove sastavne dijelove: opservacioni sistem za prosudjivanje stereoskopske koïncidencije (za viziranje iste tačke na lijevom i desnom snimku) (sl. 45); projekcijski sistem za projiciranje snimaka u prostor modela, s mogućnosti nanošenja orijentacionih elemenata (sl. 45 i 43); modelni koordinatometar (X-, Y- i Z-kolica) za nošenje presjeka rekonstruiranih zrakâ sa skalama i ev. brojilima za odabiranje modelnih koordinata (kod primjene Zeissovog paralelograma linearne orijentacioni elementi nanose se na modelnom koordinatometru); kartirajući uredaj (redovito koordinatograf) za prijenos tlocrtnih (rjeđe nacrtnih, već prema tome da li se kartira tlocrt ili nacrt) pokreta rekonstruiranog presjeka sa modela na planšetu (na koju se kartira) (8, 9, 10 na sl. 44); uredaj za automatsku registraciju koordinata (11-14 na sl. 44).

Automatizacija na stereoinstrumentima. Automatizacija se danas u fotogrametriji više ne odnosi samo na registraciju rezultata, već i na orijentaciju snimaka i njihovu restituiciju. Pri-godom relatiivne orijentacije i restituicije identifikaciju opservirane odnosno mjerene tačke ne uspostavlja restitutor stereoskopskom koïncidencijom, već elektronički uredaj vremenskom korelacijom kontrasta (sl. 46) otipkavanog okoliša lijeve i desne slike koje se slike korigiraju u geometrijskom pogledu prevodeći ih elektronički u horizontalnu ortogonalnu projekciju u mjerilu $f : h$. Ovo je prevođenje potrebno da bi se uklonile razlike u mjerilu preslikavanja za pojedine detalje, koje su razlike prouzročene odstupanjem relatiivne orijentacije stereopara od normalnog slučaja i konfiguracijom terena (v. sl. 24). Tek pošto se ove razlike uklone, mogu se lijevi i desni snimak precizno korelirati.

Slika, muštra kontrasta za pripadni okoliš na lijevom i desnom dijapozitivu analizira se elektroničkim načinom pomoću lijevog odn. desnog dupleksera, koji su u svom funkcioniranju sinhronizirani. Svjetlosna pišta na ekranu katodne ci-

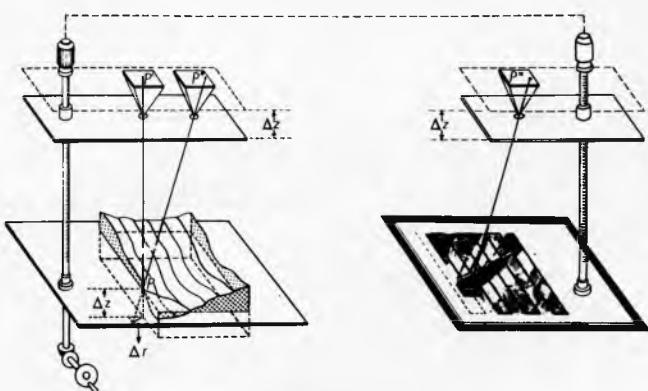


Sl. 46. Princip mjerena paralakse na stereomatu Wild

jevi oscilira po trasi jednog nepravilnog, slučajnog uzorka cirkularno oko središnje tačke, optički identične s mernom markom, da bi se otipkavanjem ispitao okoliš mjerene tačke na dijapozitivu. Svjetlosna se pišta pomoću objektiva L_1 na dijapozitivu D . Ovako osvijetljen okoliš ispitivanje (mjerene) tačke dijapozitiva preslika se pomoću objektiva L_2 , na fotomultiplikator P , u kojem se svjetlosni tok zrakâ transformira u električnu struju i . Prodirući kroz sloj dijapozitiva svjetlost biva filtrirana njegovom gustoćom. Zbog mustre pocrњenja, kontrasta dijapozitiva, tok će svjetlosti koja pada na fotomultiplikator varirati u svom intenzitetu ovisnosti o detalju okoliša koji se upravo prosvjetljava. Ako u postavu lijevog dupleksera prema lijevom dijapozitivu postoji paralaksa s obzirom na postav desnog dupleksera prema desnom dijapozitivu, svjetlost koja pripada nekoj liniji kontrasta (na kojoj se mijenja intenzitet pocrñenja dijapozitiva) neće lijevi i desni fotomultiplikator pogodati u isti tren, pa će postojati pomak faze $t_r - t_l$ između strujâ koja odašljie desni i lijevi fotomultiplikator. Ta razlika aktivira servomotor, i to tako dugo dok ne nestane pomak faze, tj. dok nije izjednačen postav dupleksera na lijevoj i desnoj strani, čime dakako nestaje i paralaksa.

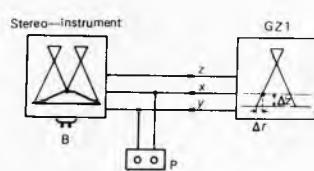
Nekoreliranost $t_r - t_l$ prouzrokovana je x' -paralaskom i taj se signal odvodi z -servomotoru. Aktivirani z -servomotor mijenjan će z do nestanka x' -paralakse (crtkani položaj na sl. 46). Analogno nekoreliranost u smjeru y' prouzrokovana je y' -paralaskom, a ova opet pogrešnom relativnom orientacijom, pa se taj signal odvodi servomotoru onog elementa relativne orientacije koji je po svrsidnom programu dodijeljen položaju te tačke.

Automatizacija se u restituciji najviše primjenjuje za *ortofotografiju*, tj. za dobivanje *ortofotoplanova*; to su fotoplanovi koji imaju geometrijski karakter horizontalne ortogonalne projekcije, isto kao i geodetski planovi, a ne centralne projekcije kao obični fotoplanovi. Kao što je vidljivo iz sl. 27, radikalna odstupanja fotoplanova od geodetskih planova prouzrokovana su visinskim odstupanjima terena od razine redresiranja, koja je kod objektivno optičkog redresiranja zastupljena projekcionom ravninom. To znači da ako bismo tačke profila suksesivno projicirali na fotosloj (položen na projekcionu ravninu) mijenjajući pri tom projekcionu daljinu tako da bi ona u mjerilu fotoplana odgovarala aplikati te tačke (z -koordinati), tih radikalnih odstupanja ne bi bilo, fotplan bi geometrijski odgovarao horizontalnoj ortogonalnoj projekciji i time postao ortofotoplan. U tu svrhu treba da znamo, odnosno odredimo, z -koordinatu za sve tačke svih profila koji ispunjuju model. To, međutim, nije moguće iz jednog snimka već samo iz stereopara mjereno na projekcionom stereoinstrumentu. Fotografski

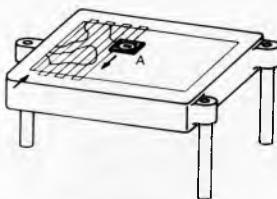


Sl. 47. Princip ortoprojectora Gigas-Zeiss: po istom meanderskom toku po- kreću se u tlocrtu lijevo merna marka P po modelu na stereoinstrumentu i desno razrez iznad ortofotosloja; pri tom opseruator pomoću ručnog kotača dotjeruje kontinuirano visinu varijacijama Δz projekcionog sistema stereoinstrumenta, koje se varijacije prenose udesno na projektorni dvojnik

kvalitetno i konstruktivno jednostavno rješenje dobije se ako se stereoinstrument s izoštrenom objektivno optičkom projekcijom, npr. Stereoplanigraphu, doda još jedan treti (orto-)projektor dvojnik (sl. 47, 48 i 50), kojemu se nakon završene relativne i apsolutne orijentacije modela dodjele jednaki elementi vanjske orijentacije kao što ih je poprimio njegov dvojnik u stereoparuu.



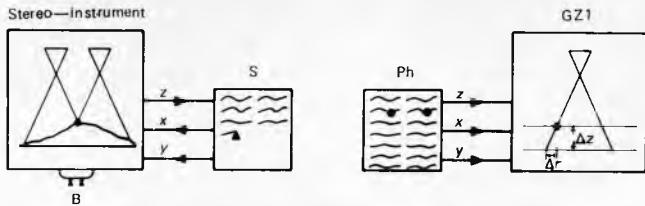
Sl. 48. Direktni postupak na ortoprojektoru Gigas-Zeiss



Sl. 49. Meandertasti tok sukcesivne eksponaže ortofotoplana

Stereoplanigraph je za tu svrhu prikladan još iz razloga što se kod njega z -pokreti dodjeljuju projekcionom sistemu. Ti se z -pokreti lako prenesu na ortoprojektor (dvojnik), uslijed čega onda fotosloj može i treba da ostane kroz čitavo vrijeme u istoj horizontalnoj ravnnini.

Ortofotografija spada dakle u stereofotogrametriju, a orto-uredaj mora kao dodatan biti priključen na projekcionu stereoinstrument; ovo dvoje zajedno čini ortokomplet. U načinu prostornog određivanja nema geometrijski nikakve razlike između konvencionalne restitucije na projekcionom stereoinstrumentu i ortofotografiranja na ortokompletu. Razlika postoji samo u tehnički registriranju položaja. U prvom slučaju sama ortogonalna projekcija izvodi se na stereoinstrumentu relativnim z -pokretom između (idejnog) presjeka rekonstruiranih zraka i projekcionog sistema (v. sl. 45). Na koordinatograf ne prenosi se taj z -pokret, već samo položajni x - i y -pokreti. Iz toga rezultirajući postav na koordinatografu registrira se pomoću crtajlke grafički na planšetu. U drugom slučaju ortogonalna projekcija odnosno z -pokreti prenose se od projektora stereoinstrumenta na projektor dvojnik, a položaj se registrira pomoću svjetlosnih zraka fotografiski na fotosloju.



Sl. 50. Memorija-postupak na ortoprojektoru Gigas-Zeiss

Postoji, međutim, razlika u registriranom sadržaju tlocrta. Dok se kod konturnog kartiranja na projekcionom stereoinstrumentu moraju tražiti konture koje je vrijedno grafički registrirati, kod ortofotoplana to traženje otpada, jer se hoće-neće registrira čitavo stereopolje. Stoga se nameće jednostavniji tok obrade stereopolja, i to u obliku meanderskog obilazanja, otipavanja (sl. 49, v. i sl. 47), tj. po y -potezima. Od jednog na slijedeći y -potez prelazi se x -stopenicom. Takvo je obilazjenje vrlo lako programirati i mehanizirati. Njime se sa komandnog pulta P (sl. 48) upravlja preko elektromotora. Program sadrži y -raspon i x -stopenicu; z se, dakako, ne može programirati, jer on nije unaprijed poznat, već mora upravo stereoizmjerom biti određivan od restitutora (na uređaju B , sl. 48 i 50). Njemu od pokretanja rekonstruiranog presjeka u x -, y - i z -smjeru preostaje prigodom meanderskog obilazjenja stereopolja jedino da vertikalnim pomacima (ortogonalna projekcija!) mjernu marku stalno održava na površini modela. To više ne mora izvoditi nogom preko pedalnog diska, već su mu sada ruke slobodne, pa je z -pogon prebačen na desni ručni kotač.

Pri direktnom, sinhronom spajaju z -vretena stereoinstrumentu sa z -vretenom ortoprojektora (sl. 47 i 48) eksponaže je sinhrona sa stereoizmjerom na stereoinstrumentu. Elektromotor za tlocrtni obilazak vodi pri tom po istom meanderskom toku istovremeno kako mjernu marku u modelu (na stereoinstrumentu),

tako i zaslon (razrez) na ortoprojektoru, koji će suksesivno oslobadati fotosloj u svrhu njegove eksponaže.

Uputnije je međutim z -varijacije u profilu $x = \text{konst}$. najprije pohraniti (memorirati) u memoriji (S u sl. 50) u obliku gravure na pocrnjenoj ploči (memorija-postupak). Te gravure korespondiraju s meandrom: x -stopenici odgovara prelaz od jedne na drugu gravuru, početku profila $x = \text{konst}$. odgovara početak gravure, a svršetku svršetak. Kasnije se iz uređaja Ph sinhronizirano upravlja zaslonom po meandru i elektronski obilaze ugravirani profili, a varijacije ordinate prenose se na varijacije rotacije z -vretena ortoprojektora. S memorija-postupkom omogućen je brži rad ortoprojektora (isključen je čovjek!), pogreške mjerjenja mogu se ispraviti prije eksponaže fotosloja ortofotoplana, mjereni profili mogu se naknadno progustiti »električkom interpolacijom«, čime se smanjuju nesuglasice uzduž granica profila prouzročene nagibom u x -smjeru modela (terena) prema horizontalnom fotosloju.

U pogledu brzine rada, kod ortofotoplana otpada izvlačenje u tušu tlocrta, koji se (redovito) u olovci automatski s restitucijom kartira na planšetu, orijentiranu na stolu koordinatografa, a pridolazi fotoobradu ortofotoplana. Slojnice se mogu ukopirati naknadnim fotografskim procesima.

Ako usporedimo ortofotoplan s fotoplanom, vidimo da se prvi eksponira suksesivno mjereci sve uske (~ 4 mm na modelu) poteze modela, dok se kod drugog u vrlo kratkom vremenu (oko 1 minute) eksponira čitav format snimka odjednom.

Razvitkom automatskih i, pogotovo, univerzalnih projekcionih stereoinstrumenta svedena je u fotogrametriji potreba za računskim operacijama na minimum. Gotovo se može reći da one više nisu potrebne, pa je nastala izreka: »fotogrametrija je umijeće da se (kod izmjere) izbjegne računanje«. To je bio velik napredak, jer su računske operacije za preračunavanje slikovnih koordinata u zemljisje predstavljale, kad je broj mjereneih tačaka bio velik, znatan posao i izvore pogrešaka, čak i onda kada su bili ispunjeni olakšavajući uvjeti u pogledu zahtijevanih specijalnih vrijednosti za elemente relativne i, pogotovo, vanjske orijentacije (nadirni otklon $v = 0$, odn. 90° ; ravnična snimka zajednička, ili bar paralelni osi snimanja). Ako navedeni uvjeti nisu ispunjeni, formule za preračunavanje su znatno komplikirane, pa su takva rješenja prije dolazila u obzir samo izuzetno. U novije doba konstruirana su mehanička, električna i elektronika računala koja su u svom djelovanju povezana s mjernim postavom na stereoinstrumentu za izmjere slikovnih koordinata ili na numerokartografu, te sinhrona sa stereokoincidencijom preračunavaju slikovne koordinate u zemljisje; time i te vrste stereoinstrumenta mogu postati automatske.

Ova računala mogu biti analogna i digitalna (v. *Analogno računalo*, TE 1, str. 296 i *Digitalna računala*, TE 3, str. 313). Projekcioni stereoinstrumenti zapravo su analogna računala za transformaciju slikovnih koordinata u zemljisje.

Fotoslojevi za snimanje

U terestričkoj fotogrametriji upotrebljavaju se za snimanje redovito pankromatski fotoslojevi ili, još bolje, ortokromatski slojevi i žuti filter.

U aerofotogrametriji upotrebljavaju se redovito pankromatski fotoslojevi i žuti ili narandžasti filter. Za specijalne svrhe (npr. šumarske) upotrebljavaju se fotoslojevi osjetljivi prema infracrvenim zrakama i narandžasti ili crveni filter; za tzv. modificirane takve fotoslojeve zadovoljavat će čak i žuti filter.

Kolor-fotoslojevi upotrebljavaju se više radi bolje interpretacije sadržaja snimka, a mnogo manje u preciznom fotogrametrijskom premjeru. Naime slika na kolorfotosloju je manje oštra nego na crno-bijelim fotoslojevima, a osim toga, u stereoskopskoj fotogrametriji dolazi uslijed kromatske disperzije oka i necentriranoći njegovog optičkog sistema do dubinske disperzije (za različite boje, stereoskopija boja), čime prividni prostorni položaj, dubina opserviranog detalja, postaje ponešto ovisna o njegovoj boji.

Kolorsnimci upotrebljavaju se u mjerne svrhe tamo gdje interpretacija i diferencijacija na crno-bijelim fotoslojevima ne zadovoljava, a gdje je taj moment relativno važan prema mjernim zahtjevima, npr. za kartiranje raznih vrsta šuma, tala, biljnog pokrivača. U tim slučajevima, uslijed postepenih prelaza i dijelomičnog ispreplitanja, razdvojne linije nisu definirane većom tačnošću, pa manja oštrina kolorsnimka ne predstavlja smetnju.

Primjene fotogrametrije

Fotogrametrija nalazi mnogostranu primjenu na različnim područjima izmjere i istraživanja zahvaljujući vrlo brzom snimanju iz daljine, mogućnosti stereoskopske prostorne izmjere i perspektivi vertikalnog aerosnimka. Stereofotogrametrijska izmjera čini izmjero neovisnom o direktnom premjeru objekta, a vertikalni ili redresirani aerosnimci pružaju uvid u objekt u nedeformiranom obliku, pri čemu gotovo jedinstveno mjerilo snimljenog područja omogućuje bolji pregled, usporedbi i povezivanje različnih pojava koje se mnogo viđaju očituju na aerosnimcima nego na terenu.

Stereofotogrametrijska izmjeru nepokretnih objekata primjenjuje se u aerofotogrametriji za izradu regularnih i specijalnih geodetskih planova i karata; za izmjeru uzdužnih i poprečnih profila pri projektiranju komunikacija; za ravnanje i parceliranje u melioracijama; u šumarstvu; u vojnoj fotogrametriji (snimanju i određivanju neprijateljskih vojnih objekata). U terestričkoj fotogrametriji ona se primjenjuje u pripremi i dopunskom topografskom premjeru; za snimanje i izmjeru historijskih i kulturnih spomenika (arhitektura, kipovi); za praćenje arheoloških iskopavanja; za utvrđivanje stanja nakon prometnih nesreća i provala; u medicini (za snimanje unutrašnjosti organizma, lokaciju tumora, stranih tijela itd.); za antropološke i zoološke svrhe.

Stereofotogrametrijska izmjeru pokretnih objekata primjenjuje se u terestričkoj fotogrametriji za snimanje valova, oblaka, eksplozija, električnih iskara, sportskih scena; za balističke i satelitske snimke. Pri toj izmjeri stereoskopsko snimanje (sa oba kraja baze) mora biti sinhronizirano.

Približno vertikalni ili redresirani aerosnimci jesu gotovo neformirana položajna predodžba kompletног sadržaja snimljene područja, pa se kao takvi primjenjuju u arheologiji, geologiji, geografiji, pedologiji, pri bonitiranju zemljišta (prigodom komasacije), u hidrotehnici, u urbanizmu i regionalnom planiranju.

U nastavku osvrnut ćemo se nešto detaljnije na najvažnije primjene fotogrametrije, izuzevši, dakako, regularnu geodetsku premjeru, o kojoj je dovoljno napisano u prethodnim poglavljima.

Primjena fotogrametrije u geodeziji. U usporedbi s metodama klasičnog premjera (ortogonalnom metodom, tahimetrijom, geodetskim stolom, plošnim nivelmanom) i metodama određivanja osnovne mreže (nivelmanom, triangulacijom) fotogrametrijia ima svoje prednosti i nedostatke. Prednosti su ove:

1) Terenski posao reducira se na minimum, te rad u velikoj mjeri postaje neovisan o vremenskim prilikama i terenskim po-teškoćama. To je naročito velika prednost kod teško prohodnog i teško pristupačnog terena, te kod velikih prostranstava (tu se radi o sitnim mjerilima).

2) Snimanje terena, prvenstveno snimanje iz zraka, neuporedivo je brže nego snimanje klasičnim metodama.

3) Izmjera snimaka i kartiranje fotogrametrijskim metodama mnogo je brže nego klasičnim metodama.

4) U fotopremjeru isključena je mogućnost grubih pogrešaka. Čim je jednom orientacija uspostavljena i provjerena na temelju dovoljnog broja orientacionih tačaka, ispravnost redresiranja je osigurana, a ispravnost stereoskopske prostorne izmjere kontinuirano se provjerava stereoskopskom koincidencijom, koja ne može grubo zatajiti.

5) Prostorno fotogrametrijsko premjeravanje vrši se isključivo tačnim postupkom (prostornog) presijecanja naprijed. Ta se metoda u klasičnoj geodeziji upotrebljava samo u triangulaciji, u kojoj se traži veća tačnost, i kod geodetskog stola za naročito važne tačke, a inače ne.

Dosad navedene prednosti fotopremjera vrijede analogno i za aerotriangulaciju.

6) Vjernost predočivanja terenskih oblika i linija mnogo je veća, i to naročito kod komplikiranijeg terena, tj. razvedenijeg po konfiguraciji i s nepravilnim linijama (potocima, putovima nižih redova itd.). Razlog je tome što se u fotogrametriji može uz daleko manji potrošak novca i vremena nego kod klasičnih metoda izmjeriti velik broj tačaka i, što je najvažnije, kod izmjere linija (slojinica, potoka, puteva), mjeri se kontinuirano svaka tačka linije, dok se kod klasičnih metoda mjeri samo ograničen broj karakterističnih tačaka, a ostale se tačke interpoliraju.

7) Zahvaljujući njihovoj većoj brzini, fotogrametrijska kartiranja po pravilu su aktuelnija, suvremenija nego klasični geodetski premjer.

Klasične metode imaju ove prednosti:

Pri visokim zahtjevima u pogledu tačnosti, pri najkрупnijim mjerilima (kao što je npr. izmjeru visokovrijednih objekata i zemljišta) klasične metode mogu dati veću tačnost nego fotogrametrijia; ako je potrebno, mogu dati i po volji veliku tačnost. To naročito vrijedi za visinski premjer ravnčastog zemljišta, koji se plošnim nivelmanom dobije vrlo jednostavno i tačno, dok

je oblik i položaj fotogrametrijski dobivenih slojnice u tom slučaju opterećen mnogo većom pogreškom. Isto se može reći i za aerotriangulaciju u odnosu prema klasičnoj metodi triangulacije. U zarašlim područjima klasične metode daju, dakako, veću tačnost zbog slabog uvida fotogrametrijskog snimanja u teren. U crnogoričnim predjelima taj se nedostatak ne može izbjegći ni ublažiti odabiranjem datuma snimanja.

Prvi je fotogrametriju primijenio za geodetske (topografske) svrhe francuski pukovnik A. Laussedat (1858). On je iz poznate unutarne i vanjske orientacije snimaka stereopara konstruirao najprije horizontalne projekcije pridruženih parova zraka, njihovim presjekom je dobio položaj tačke, a potom je s slikovne ordinate izveo nagib zrake, pa je visina određena kao u trigonometrijskom nivelu manu (v. sl. 20). Time je Laussedat nadomjestio premjer geodetskim stolom.

Primjena fotogrametrije pri projektiranju prometnica. Iz kontinuirano izvučenih slojnice na planovima i kartama koje su dobivene regularnim geodetskim ili stereofotogrametrijskim kartiranjem mogu se izvesti uzdužni i poprečni profili izvrsnog smjera. Ovakvo dobiveni profili nisu dovoljno tačni za detaljnije faze rada (za glavni projekt).

Da bi se povećala tačnost, teren se (za detaljne faze) snimi u vrlo krupnom mjerilu ($1 : 4000 \dots 6000$), tj. iz male visine, a tačke se mjeri pojedinačno (ne kontinuirano). Stacionaža tačaka uzdužnog i poprečnog profila određena je pri stereofotogrametrijskoj izmjeri posebnim staklenim razmernikom, koji se orijentira iznad planšete, apsolutno orijentirane na koordinatografu. Položaj, tj. vrijednosti x i y , uviziraju se na staklenom razmerniku sa koordinatografom, a restitutor namještja na stereoinstrumentu samo visinu, koju ili očita i zapiše, ili automatski registrira zajedno s numeracijom mjerene tačke. Automatska registracija u rupičastom pismu (kodu) donosi velike prednosti pri kombinaciji s elektroničkim računskim strojem, koji tako registrirane podatke direktno prihvaca, čita i memorira. Elektronički računski stroj može za tu svrhu biti posebno programiran da obradi različite varijante trase i odredi optimalnu.

Veliki izbor varijanti na velikom prostranstvu omogućen je digitalnim modelom. U tu se svrhu na stereoinstrumentu ili izmjeru i registriraju koordinate svih karakterističnih tačaka koje (aproksimativno) formiraju snimljeno zemljište (izbor tačaka vrši se po istom kriteriju kao u tahimetriji i topografskom premjeru) ili se izmjeri i registriraju visine (z) sviju tačaka modela čije tlocrte koordinate (x, y) sačinjavaju dovoljno gusto poznato orijentiranu kvadratičnu mrežu. Skup sviju registriranih koordinata tako odabranih tačaka snimljenog područja sačinjava *digitalni model*, iz kojeg se naknadno interpolacijom mogu pomoći elektroničkog računala odrediti proizvoljne terenske linije ili plohe.

Primjena fotogrametrije za ravnanje i parceliranje u melioracijama. I u tu svrhu snima se u vrlo krupnom mjerilu. Na koordinatografu orientira se iznad planšete transparentna folija s nanesenim orientacionim tačkama i kvadratnom mrežom dovoljne gustoće. Položaj x, y , tj. presjeci mreže, namještaju se sa koordinatografom, a visinu opet dotjera restitutor na stereoinstrumentu. Perforirano registrirani podaci uvide se u elektronički računski stroj, koji, programiran za tu svrhu, odredi optimalnu kotu i nagib tabe.

Primjena fotogrametrije u vojne i ratne svrhe. Postanak i razvitak aerofotogrametrije zahvaljujemo u velikoj mjeri vojnoj geodeziji. Fotogrametrijia se u vojski upotrebljava u geodetske i izviđačke svrhe. Nema gotovo područja koje bi na njenu primjenu bilo više upućeno nego vojska. Fotogrametrijia je za vojsku odlično sredstvo za orijentaciju i informaciju, te je ona u tom smislu bila u punoj mjeri upotrebljavana u drugom svjetskom ratu. Ona je mnogo pomogla i olakšala pokretni rat. Na taj se način dolazilo i do vjernih modela neprijateljskih utvrda, što je bilo naročito važno za uvježbavanje napada.

Primjena fotogrametrije za utvrđivanje stanja pri prometnim nesrećama. Uslijed velikog prometa učestale su prometne nesreće. Nakon nekoliko tjedana ili mjeseci treba na sudskoj raspravi ustanoviti krivnju, te optuženog ili oslobođiti ili kazniti. Kod toga smo upućeni na svjedočke, koji često nisu objektivni, ili ne posjeduju prisebnost duha da bi mogli takav dogadjaj trijezno promatrati. Za ispravno prosudjivanje potrebno je poznavati tačno stanje. Za detaljno mjerjenje nema vremena jer se promet ne može zakrčiti na duže vrijeme. I najmanji detalj

kadar je unijeti mnogo svjetla u stvar. Ako se čitavo stanje snimi neposredno nakon sudara stereokamerom sa nekoliko stajališta, ono se može naknadno u svaku dobu promatrati i izmjeriti u za tu svrhu prikladnom stereoinstrumentu.

Primjena fotogrametrije u arhitekturi. Prvi je fotogrametrijsku metodu primijenio za izmjeru u arhitekturi Nijemac A. Meydenbauer (1958), i to grafički presijecanjem naprijed i trigonometrijskim određivanjem visina (v. sl. 20). Nepristupačne fasade s mnogo markantnih pojedinosti vrlo su prikladan objekt za ovaj način izmjere.

Iako su snimci u arhitekturi terestrički snimci, oni se pri izmjeru na stereoinstrumentima tretiraju kao aerosnimci jer se njima ne kartira prvenstveno tlocrt zgradā, već njihova fasada, koja je u višim pojasima nepristupačna za direktni premjer. Izmjera krovova se iz razloga perspektive često nadopunjuje iz aerosnimaka.

Osim što se na univerzalnim projekcionim stereoinstrumentima mogu iz aerosnimaka kartirati tlocrt i slojnice, dakle projekcija u ravnnu XY i presjeci paralelni s tom ravnnom, mogu se priključivanjem na terestričke snimke direktno kartirati i presjeci paralelni s ravnnom XZ, a pri električnom prenosu modelnih pokreta na koordinatograf mogu se direktno kartirati i presjeci paralelni s ravnnom YZ. Kartiranjem na istu crtaču podlogu (planšetu) sviju iz snimališta vidljivih objekata i stabala ortogonalno projiciranih na XZ-odn. YZ-ravnnu stereoinstrumenta dobiva se *geometral*. Geometrali su vrlo interesantni za urbanistička planiranja i za urbanističke mjerne, a da bi se njima obuhvatili karakteristični smjerovi naselja, treba prema tim smjerovima projektirati i izvršiti smjerove leta.

Posebnim mijenjačem mogu se pokreti modela u jednom smjeru (npr. smjeru X) prenositi na jedno vreteno koordinatografa (koje tjeran crtačku), dok se na drugo (ortogonalno) vreteno prenosi kombinacija pokreta u ostala dva smjera (Y i Z). Time se od snimaka naselja može direktno kartirati njegova aksonometrija. Izborom prenosa u mijenjaču od modela na koordinatograf može se za koordinatne smjerove X, Y, Z postići i svršishodna prikrata 1 : 1 : 1.

Iz digitalnog modela koji sadrži registrirane koordinate potrebnih karakterističnih tačaka objekata, mogu se na elektroničkom računalu izvesti perspektive sa proizvolnjih (momentalno čak i nepristupačnih) stajališta u proizvolnjim smjerovima, koje se perspektive potom mogu iskartirati na automatskom crtaču (ploteru). Tu se u model, a i u sam fotogram, mogu unijeti i tek projektirani objekti, za koje moraju biti poznate koordinate tačaka koje taj objekt formiraju (*inverzna fotogrametrija*). Te su mogućnosti veoma važne za zaštitu pogleda na grad sa preferiranih položaja.

Balistička i satelitska fotogrametrija. Zbog velike brzine projektila, odnosno satelita, izvanredna važnost polaze se na sinhronizaciju snimka. Kao orijentacione tačke za vanjsku orijentaciju fotograma služi zvjezdano nebo. Pridružena snimališta se ne dogledaju. Ona se u satelitskoj fotogrametriji povezuju posredstvom snimanjih satelita, što upravo predstavlja i njezin cilj.

Primjena aerosnimaka u arheologiji, geologiji, geografiji, hidro-tehnici i bonitaciji tla (komasacijama). U ovim područjima (približno) vertikalni aerosnimci su i bez njihove izmjere veoma korisni, i to za pregled i interpretaciju.

Terenskim rekonosciranjem i istraživanjem mogu se pojedini detalji na licu mesta detaljno prostudirati, ali nedostaje pregled koji bi olakšao upoznavanje odnosa i veze svih ovih detalja. Takav pregled pruža vertikalni aerosnimci sa svojom perspektivom. Stoga aerosnimci i u geologiji i u arheologiji često već od prvog početka navode na ispravno tumačenje zapaženih detalja i uspješno traženje novih. Oni omogućavaju sistematizaciju rada. Za arheologiju važna je okolnost da se stare građevine pokrivene zemljom mogu odati na površini po različitoj boji i tonu boje uslijed različite sadržine vlage; zatim ta različita sadržina vlage, pa različita dubina zemlje nad građevinom i sadržaj vapna utječe na vegetaciju, koja još bolje služi kao putokaz. Prahistorijski humoviti grobovi otkriveni su u Velikoj Britaniji najvećom lakoćom, jer je nad jarkom koji opkoljuje grobovnu žitu prije dozrijevala i bujnije izraslo, pa su se ti jarki na aerosnimcima predstavili kao svjetli koluti. Ti su snimci snimljeni pred žetvu; na onim dijelovima gdje je žito već bilo požeto nije se moglo ustanoviti ništa. U jednom drugom slučaju moglo se na snimcima livada jasno i očito razbrati nekadanje podjeljenje parcele, oranice s brazdama. Sastavne male uvizine nad zatrpanim građevinama, koje na terenu ne upadaju u oči, odat će se na aerosnimku po sjeni. Te se sjene najbolje zapažaju kad se snima ujutro ili u kasno poslijepodne. Kako se vidi, arheologija zahtijeva često posebno snimanje s obzirom na dnevnu rasvjetu, godišnje doba i vlagu.

Kamenje koje je pokrito slojem zemlje utječe svojim sastavom i svojom propusnošću na životne uslove raslinstva koje na tom zemljisu uspijeva, pa će raslinstvo biti vanjski izražaj unutrašnje geološke strukture. Biljni će pokrivač biti nadalje odraz i posljedica hidrografskih, hidroloških, klimatskih i pedoloških utjecaja, pa će aerosnimci poslužiti kao odlična podloga za studij ovih odnosa i utjecaja. Kako god izgledala Zemljina površina, bila ona nezarašena, gdje se preslikava samo tlo, ili zarasla nepristupačnom prašumom, moći će se

u geologiji i uspјehom primijeniti aerosnimci koji će u istraživanju i terenskim studijama predstavljati odlično sredstvo s obzirom na ekonomičnost, usmjeravanje, instruktivnost i tačnost.

Dakako da aerosnimanje još bolje prodire kroz vodenu površnu nego kroz zemljunu površinu. Tako se na aerosnimcima mogu ustanoviti plićine i podvodni grebeni. Vrlo se dobro zapažaju i strujanja. Na Sjevernom moru, na području koje je na širokom pojasu izloženo plimi i oscici i koje je zbog močvarnosti teško pristupačno, određivalo su se slojnice tako da se iz zraka snimalo prodržanje pri raznim vodostojima. Aerosnimak je veoma dobro sredstvo da se odredi područje velike vode i poplave.

Dok su za određivanje prostranog vodenog lica prikladniji infracrveni fotoslojevi zbog tamne reprodukcije vode, za podvodne detalje potrebni su pankromatski fotoslojevi ili kolorsnimci, koji vodno lice reproduciraju prozirno.

Za poljoprivredu je vrlo važan režim podzemne vode. Mjesta s većim sadržajem vlage ističu se na aerosnimku svojim tamnjim tonom. Prigodom bonitacije zemljista, koja je naročito potrebna pri komasaciji, fotoplanovi (ili čak povećani aerosnimci) odlična su zorna podloga za suradnju pedologa s poljoprivrednikom. Seljak raspoznaće na aerosnimku mjesta gdje je to vlažno i teško, mjesta na kojima je — iz poznatih ili nepoznatih razloga — plodnost zemljista bolja ili slabija. Granice boniteta redovito nisu oštro izražene, već postoje blagi prelazi, a često su i nepravilnog toka. Stoga tačna geodetska izmjera bonitetnih granica ne samo da bi bila dugotrajna, nego je i nemoguća. Međutim, te su linije na aerosnimku, upravo zbog njegova sitnog mjerila, bolje definirane nego na samom terenu, te pedolog i poljoprivrednici, uspoređujući aerosnimak s terenom i s pedološkim analizama, dobivenim sondazom mogu doći do pouzdanih rezultata na ekonomičan način.

LIT.: O. Gruber, Ferienkurs in Photogrammetrie, Stuttgart 1930. — C. Troll, Luftbildplan und akologische Bodenforschung, »Hansa-Luftbildmitteilungen«, Berlin 1939. — O. Lacmann, Die Photogrammetrie in ihrer Anwendung auf nichttopographischen Gebieten, Leipzig 1950. — M. D. Konchin, Aerofotogeodetska i fotogrammetrija, Moskva 1954. — Ф. В. Дробищев, Основы аэрофотосъёмки и фотограмметрии, Москва 1955. — H. Kasper, Photogrammetrie und elektronisches Rechnen im Dienste der Strassenprojektierung, »Strasse und Verkehr«, Zürich 1958. — F. Braun, Die Beseitigung der Modelldeformationen in Senkrechtaufnahmen durch Änderung der relativen oder der inneren Orientierung, Zürich-Zagreb 1960. — F. Braun, Die numerisch-graphische gegenseitige Orientierung von Steilaufnahmen an der Stereogerät. I. Ordnung für beliebige Gelände- und Lückengestaltung, München 1961. — K. Schweifsky, Grundriss der Photogrammetrie, Stuttgart 1963. — American society of photogrammetry, Manual of photogrammetry, Vol. I, II, Falls Church, 1966. — R. Martin, Notices de photogrammétrie, Paris 1968. — B. Dubuisson, La photogrammétrie des plans topographiques et parcellaires par le génie civil, Paris 1969. — G. Lehmann, Photogrammetrie, Berlin 1969. — F. Braun, Elementarna fotogrametrija, Zagreb 1969. — F. Braun, Objektivno optičko redresiranje, Zagreb 1970. — F. Braun, Teorija stereofotogrametrijskih pogrešaka, Zagreb 1970. — H. Kasper, Hinweise für die Anwendung der Photogrammetrie bei der Entwurfsbearbeitung im Strassenbau, Bonn-Bad Godesberg 1971. — K. Rinner, R. Burkhardt, Jordan (Eggert) Kniesel Handbuch der Vermessungskunde, Band III a/1, III a/2 i III a/3, Stuttgart 1972. — H. Bonneau, Photogrammétrie générale, tome I-IV, Paris 1972. — Buchholz/Rüger, Photogrammetrie, Berlin 1973. — M. Carbonell, Contribution de la photogrammétrie à l'étude et à la conservation des centres historiques, Paris 1973. — F. Braun, Fotogrametrijsko snimanje, Zagreb 1973. — Б. В. Непоклонов, А. П. Тишенико, Фотограмметрические методы в космических исследований, Москва 1974.

F. Braun

FOTOKEMIJA, područje kemije i kemijske fizike koje obuhvaća raznovrsne kemijske procese uzrokovanе apsorpcijom svjetlosti, koji mijenjaju kemijski sastav sustava koji je inače uz okolne uvjete stabilan. Apsorpcijom svjetlosti uzbudjuje se (ekscitiraju) elektroni vanjskih molekularnih orbitala, prebacuju na više energetske nivoje, te se time povećava kemijska aktivnost molekula (v. Atom, TE 1, str. 456, posebno odsječak *Atomi u molekulama*, str. 475).

OSNOVNE FOTOKEMIJSKE ZAKONITOSTI

Osnovne su spoznaje o fotokemijskim reakcijama formulirane kao dva fotokemijska zakona. Prvi zakon formulirali su T. D. Grotthuss (1817) i J. W. Draper (1843): fotokemijske reakcije uzrokuje samo ono svjetlo koje je apsorbirano u toj tvari. Drugi zakon formulirali su J. Stark (1908—1912) i A. Einstein (1912—1913): svaka molekula koja sudjeluje u fotokemijskoj reakciji apsorbira jedan kvant zračenja. Kasnije su Stark i M. Bodenstein (1913) uvidjeli da ovaj zakon vrijedi samo za primarni proces apsorpcije. U sljedećim procesima koji slijede primarno uzbuđenju molekula može predavati energiju, dakle, uzbuditi i više molekula. Uvodi se veličina *kvantni iscrpk* koja je broj kemijski promijenjenih molekula po jednom apsorbiranom fotonu. U primarnom je fotokemijskom procesu kvantni iscrpk manji, najviše jednak jedinici. Sekundarni fotokemijski procesi nastaju reakcijom produkata primarnih fotokemijskih reakcija s okolnim molekulama. Ako su takvi sekundarni procesi egzoenergetski, apsorpcija fotonu može izazvati lančanu reakciju i kvantni iscrpk može biti znatno veći od jedinice. Nadalje, za aktivaciju nekog