

## Fotogeologi.

Av

THOR SIGGERUD

With 5 text-figures.

Med fotogeologi menes en systematisk anvendelse av flybilder som hjelpemiddel ved geologiske undersøkelser. Dette arbeid er nå kommet ut over eksperiment- og instrumentstadiet, og må ansees som et nødvendig ledd i nesten alle geologiske arbeider, selv ved malmprospektering. Delvis har man også i Norge anvendt luftbilder ved geologiske undersøkelser, men det har i stor grad ikke vært klart for alle hvor meget mer man ser på et flybilde-sett som betraktes stereoskopisk enn på et godt kart. Her må det innskytes at årsaken ofte har vært den forholdsvis dårlige tekniske standard som norske flybilder har hatt før 1954. På et flybilde *skal* man kunne se de fineste detaljer hvis målestokken ikke er for liten.

Det som er nytt ved fotogeologi er at man studerer flybildene før man drar ut i felten, og tegner ned på et kart alt man ser og som man tror har noen geologisk betydning. Ofte kan det være spørsmål om tolkning av bildene, men med et godt flybilde-sett, en del kjennskap til hvilke bergarter som finnes i området, og ikke minst en del øvelse, er det utrolig hvor meget man kan se. Hensikten med et fotogeologisk kart er å få et grunnlag til å drive feltarbeidet på og ikke f. eks., risikerer å gå parallelt med en grense fordi man ikke har noen anelse om at den er der. Det fotogeologiske kart bør også kunne gi grunnlag for oppstilling av en eller flere hypoteser om områdets geologi.

Gangen i det fotogeologisk arbeidet er:

1. En grundig stereoskopisk undersøkelse av flybildene med avmerking av alt man tror har geologisk interesse. Til dette anvendes vanligvis speilstereoskop.
2. Overføring av data fra flybildene til plankart. Under denne omtegning må man korrigere for alle feil som finnes på flybildene.
3. Tolkning av kartet.

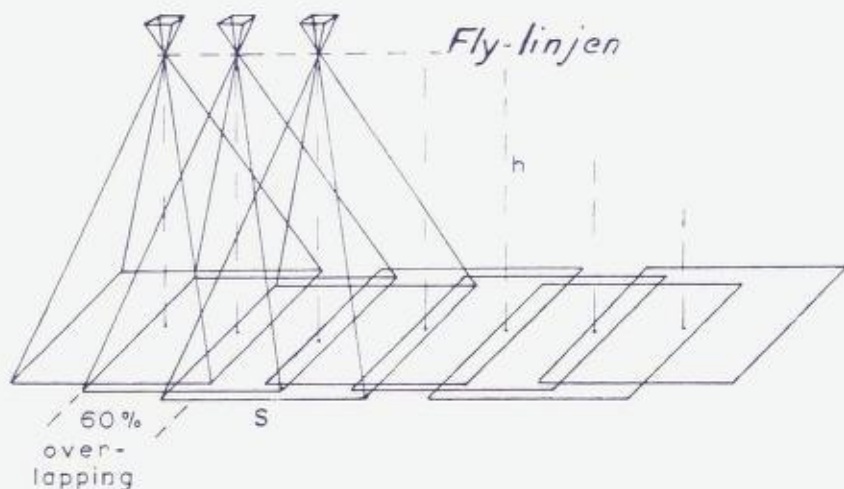


Fig. 1. Flyfotografering med ca. 60 % overlappning som muliggjør stereoskopisk betraktning.

### Flyfotografier.

Skal flyfotografier kunne anvendes til fotogeologiske studier kreves det stereoskopisk dekning, d.v.s. at alle punkter i terrenget kan gjenfinnes på to flybilder som er tatt fra to forskjellige standplasser. Fotoene tas gjerne slik at de dekker hverandre ca. 60 % i flyretningen og noe i sideretningen. (Fig. 1.) Dette er den samme overlappning som flybilder må ha om de skal kunne anvendes til topografisk karttegning. Ved fotogeologiske arbeider er det vanligvis en fordel å arbeide på bilder som er tatt vertikalt. De øvrige krav som man stiller til flyfotografier som skal anvendes ved fotogeologi er noe forskjellig fra de krav som vanligvis stilles ved topografisk karttegning.

### Målestokk.

Målestokken bør være slik at den muliggjør en gjenkjenning av flest mulige geologiske fenomener, men på den annen side bør den ikke være så stor at altfor mange bilder må gjennomgås. For geologer passer det best å arbeide med en målestokk 1: 20 000. Da dekkes et forholdsvis stort område, men det er fremdeles mulig å gjenkjenne detaljer.

### *Skarphet.*

Geologenes nytte av bildene vil være meget avhengig av skarpheten, som igjen er avhengig av kameralinsens optiske kvalitet, kameraets stabilitet og filmtransporten, filmens egenskaper, eksponering, fremkalling og kopiering. Moderne linser har en meget større oppløsningsevne enn eldre, men dessverre brukes dårlig fotoutstyr fremdeles i noen utstrekning. Uforsiktig kopiering kan også ødelegge meget av kvaliteten ved opptakene. Til geologiske formål må det stilles de strengeste krav til kopieringen for at papirbildene skal bli skarpe.

### *Kontrast.*

Kontrastgraden på de flybilder som skal brukes til geologiske undersøkelser bør være så stor som mulig, men dette er ikke noen ubetinget fordel for topografisk kartlegging. Man må derfor oppgi kontrastgraden når man bestiller flyfotografering av et område om bildene skal brukes til fotogeologisk arbeid.

Kontrastgraden er ikke bare avhengig av filmen, eksponeringen og fremkallingen, men også av den høyde bildet er tatt fra. En kontrastgrad på 1:30 på et bilde tatt i 1000 m høyde vil være sunket til 1:5 når dette tas fra 6000 m høyde, selv om fremkallingens gammaverdi økes fra 1 til 2,1. Dette viser at for fotogeologisk formål bør bildene tas med et vidvinkelkamera, slik at man kan fly i lavest mulig høyde og likevel dekke et størst mulig område. Et foto tatt med et 15 cm kamera på  $23 \times 23$  cm film vil, om det blir fotografert i ca. 3000 m høyde, få en målestokk på ca. 1:20 000 og en mulig kontrastgrad på 1:8 ved en fremkalling til gammaverdi 1,8.

Man må være oppmerksom på at kontrastgraden meget lett kan ødelegges i fremkallingen hvis man ikke ved bestillingen oppgir at man vil ha hårde kopier.

### *Fortegninger på flybildene.*

De feil et flybilde er belemret med spiller ikke noen særlig rolle når man bruker flybilder som hjelpemiddel ved f. eks. geologisk kartlegging ute i terrenget, eller når man studerer geologien på et bilde sett, men feilene gjør det ikke mulig å tegne kart direkte etter flybildene.

Et flybilde er en perspektivisk sentralprojeksjon (om kameraets linse). Dette projeksjonssystem vil ikke bli benyttet ved tegning av



kart, og man får derfor store relieffortegnelser på flybildene sammenliknet med kartet. Målestokken vil også være forskjellig etter som hvor langt et punkt i terrenget befinner seg fra kameraets linse. En annen viktig feil ved flybilder har sin årsak i at flyet avviker fra horisontalplanet i det øyeblikket bildet eksponeres. På filmen vil da en horisontal flate se ut som en helling.

#### *Papirbilder eller diapositiver.*

Et papirbilde har en begrenset evne til å gjengi de små kontrastgradene som kan finnes på filmen, men på en diapositiv blir dette kontrastomfanget meget større. Ved fotogeologisk arbeid vil man kunne se langt flere detaljer på en diapositiv enn på et papirbilde. Bruker man diapositiver må man arbeide på et lysbord eller ved et av de projiseringstegneapparatene som vil bli nevnt senere. Papirbildene blir imidlertid også noe bedre om de gjennomlyses, og i alle fall må man arbeide med kraftig påfallende lys.

### **Stereoskopiske studier.**

#### *Overdrevet relieff.*

Man kan ofte se en rekke geologiske fenomener på et flybilde, og mange vil kanskje derfor være tilbøyelig til å nøye seg med dette. Men på en stereomodell ser man meget mer fordi denne gir et tredimensjonalt bilde av terrenget, mange detaljer som ikke sees på enkeltbildene, eller kanskje ikke engang på bakken, kommer ofte klart frem, som f. eks. sprekkeretninger og sprekkesystemer o.s.v.

Grunnen til at slike ting fremtrer så tydelig i stereomodellen er for det meste at de er knyttet til reliefforandringer, og siden relieffet blir sterkt overdrevet ved stereoskopisk betraktning av flybildene fremheves fenomener som er avhengig av relieffet. Overdrivelsen av den vertikale målestokk i forhold til den horisontale er i virkeligheten et av de viktigste hjelpemidler for tolking av geologien på flybilder.

#### *Stereoskop.*

Prinsippet for stereoskopet er at hvert øye betrakter ett bilde i et sett på to bilder som dekker samme område, men som er tatt fra forskjellig standplass. Dette betyr at høyre øye studerer ett bilde og

venstre ett, og dermed fremkommer den stereoskopiske modell av det terrenget som flyfotografiene avbilder.

Stereoskopet bør kunne brukes til oversiktsbetraktninger av hele stereomodellen, men også tillate detaljstudier. Det må være plass under stereoskopet til å tegne, eventuelt måle, på flybildene. Stereoskopets linse bør ikke føre til fortegnelser, og helst bør man kunne korrigere for de avvikelser som gjerne vil finnes fra den ene enden av en stereomodell til den andre. Årsaken kan være filmens og papirets krympning o. l.

Det finnes mange typer av stereoskoper fra små og enkle til de mest kompliserte. En vanskelighet ved de små lommestereoskopene er at bildene må legges svært meget over hverandre for å få frem stereomodellen. Basis for et slikt stereoskop er 6,5 cm, mens billedstørrelsen er enten  $18 \times 18$  cm eller  $23 \times 23$  cm. Man må derfor brette bildene inn for å kunne se over hele stereomodellen, og noen særlig plass til tegning og måling blir det ikke. Lommestereoskopet har en forholdsvis stor forstørrelse og tillater derfor gode detaljstudier, men er ikke så godt egnet til oversikter.

Større stereoskoper har gjerne en speil- eller linseanordning, slik at bildene kan legges ved siden av hverandre, og man får derved et overblikk over hele stereomodellen på en gang. Ved hjelp av et kikkertarrangement kan man studere de enkelte detaljer, og det er i alminnelighet god plass til å arbeide under speilstereoskoper. Ofte må man benytte særskilt belysning på bildene for å se alle detaljer, da det optiske systemet sluker en del lys (fig. 2).

Det finnes speilstereoskoper som er videre utbygget så man kan korrigere for enkelte optiske feil i betraktningsapparatet og ikke behøver å anstrenge øynene, selv om bildene ikke er helt riktig montert. Ved å dreie på prismen får man inntrykk av å fly over terrenget, særlig hvis man har fargebilder.

### **Geologiske studier av flybilder.**

Det viktigste ved fotogeologi er å kunne identifisere de forskjellige geologiske fenomener på flybildene. De geologiske fenomener kjenne-tegnes bl. a. ved «fotografisk gråtone» mønster (tekstur), strukturer og en kombinasjon av disse. Dessuten er relativ størrelse og form også viktig.

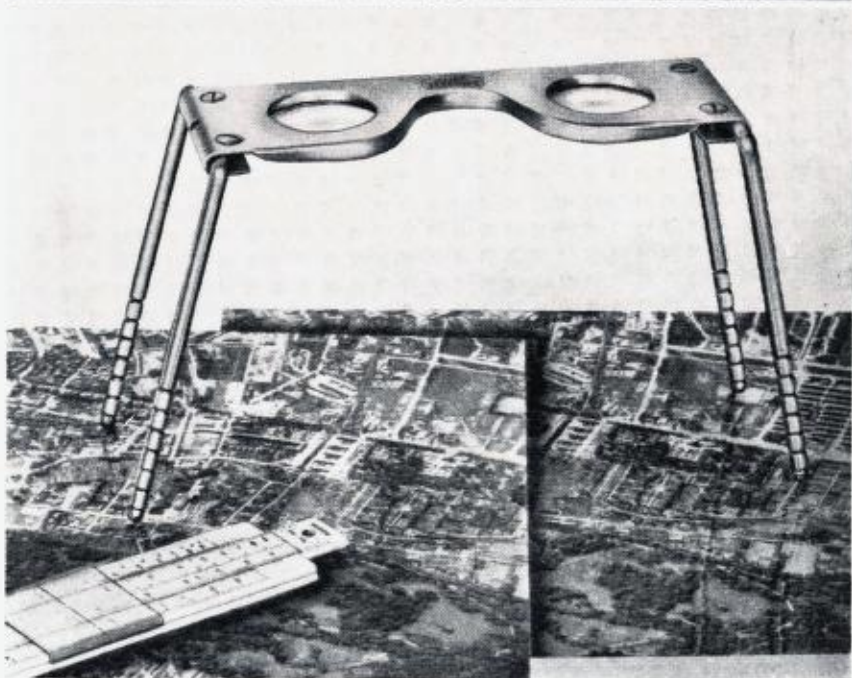
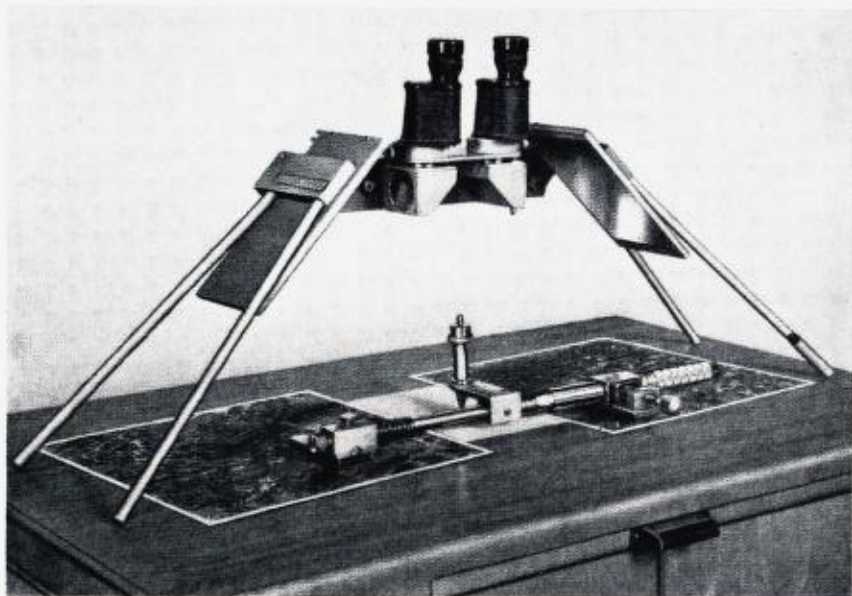


Fig. 2. Eksempler på enklere stereoskop. (Foto Zeiss.)



### «Fotografisk gråtone».

«Fotografisk gråtone» er et mål for hvor meget lys som er reflektert fra bakken og registrert på filmen. Geologens evne til å skjelne mellom små kontrastforskjeller i grått er selvsagt avgjørende for hvor meget vedkommende kan gjøre av fotogeologi. I områder med mange blotninger ser man vanligvis forskjell på en lys kvartsitt og en mørk amfibolitt. D.v.s. man burde kunne se dette, men på mange norske flybilder er dessverre billedkvaliteten så dårlig at man ikke gjør det. Forkastninger burde også kunne skjelnes dersom de har forårsaket forskyvninger i lagdelte bergarter. Det er selvsagt en stor fordel om man har en del geologisk erfaring fra det samme eller tilsvarende område som det man undersøker fotogeologisk. Man har da et grunnlag for vurderingen av hvordan de forskjellige bergarter er gjengitt med forskjellig gråtone på flyfotografiene.

### *Mønster.*

Mønster er det samlede inntrykk av fenomener som er for små til å sees enkeltvis. Fotografiets målestokk er derfor viktig for oppfatningen av mønster, f. eks. kan et raster på et bilde i liten målestokk være et tydelig oppsprekningssystem på et bilde i stor målestokk. Intrusiver vil gjerne ha et svært oppsprukket utseende med sprekker på kryss og tvers, mens oppsprekningen i et gneisområde vil være mer parallelorientert. Forskjellige vegetasjonstyper kan fremtre som mønster på flybildene, og vegetasjonen er som oftest avhengig av geologien.

### *Strukturer.*

Med strukturer menes i fotogeologisk terminologi den måten hvorpå de forskjellige geologiske fenomener er ordnet i rommet. En undersøkelse av bekkenes retning vil ofte kunne fortelle en hel del om bergartenes geologiske strukturer. I gneisområder eller et supra-krustalkompleks med sedimenter og skifre renner de i et mer rettviskelt system, parallelt og normalt på skifriheten. I et oppsprukket, homogent område (f. eks. granitt) skifter bekkene stadig retning med sprekken. Løsavleiringer kan også ha stor innflytelse på bekkenes retninger, men er det store løsmasser vil man i regelen kunne se dette på flybildene.

Linjer er et strukturfenomen som kan bety forskjellig, som oftest sprekkesoner og forkastninger. Slike linjer behøver ikke nødvendigvis å kunne følges som en strek på blotningene, de kan f. eks. fremtre som linjer i vegetasjonen.

#### *Forholdet mellom flere geologiske fenomener.*

Forholdet mellom flere geologiske fenomener kan være meget viktig, for ofte er ikke et fenomen i seg selv signifikant, men har bare betydning som en del av det hele. Små dødsgroper kan f. eks. identifiseres som slike fordi det er andre avsmeltningsfenomener like i nærheten, eller de ligger i en grusfylling med terrasser.

#### *Størrelse.*

Direkte målinger av absolutte størrelser vil bli behandlet senere, her skal bare nevnes de relative størrelser som iakttas på stereomodellen. Størrelsesbegrepet står også i relasjon til relieffet. Har man en serie profiler i et sedimentkompleks vil man kunne gjenfinne profilene på stereomodellen, og vil ved hjelp av relative størrelser kunne følge de enkelte sedimentære lag fra profil til profil.

#### *Form.*

Den topografiske form er et gjenkjenningselement i fotogeologi. Side- og endemorener vil f. eks. lett kunne følges på sin form, og det samme vil gjelde israndterrasser og isdeltaer.

Knauser i et sedimentkompleks kan tyde på intrusiver. Man kan f. eks. ta ut ultrabasitter på flybilder fordi de ligger som oppsprukne klumper i de mer skifrige bergartene som «flyter» rundt.

#### *Kombinasjon av alle iakttagelser.*

Fotogeologisk arbeid må være basert på en kombinasjon av fenomenene som kan iakttas på flybilder. Betydningen av en slik kombinert iakttagelse av alle geologiske fenomener kan ikke overvurderes når det gjelder å tyde områdets geologi. Har man fått en sammenheng mellom forskjellige iakttagelser på flybilder og de geologiske fenome-



ner i en ende av et kartblad vil man kunne følge dette til områder der enkeltiakttagelser ikke uten videre kan tolkes som geologisk betinget. Erfaring hos den som gjør det fotogeologiske arbeidet vil derfor være av den største viktighet; ikke minst der det man ser kan gi grunnlag for to eller flere tolkninger. Til denne erfaring er ikke bare regnet øvelse i bruk av flybilder og stereoskop, men også kjennskap til geologien i vedkommende område.

### **Avmerking av de geologiske iakttagelser på flybilder.**

En fotogeologisk studie omfatter ikke bare en analyse av de geologiske fenomener på stereomodellen, men like viktig er det å få tegnet et kart slik at alle de enkelte iakttagelsene til sammen kan danne et grunnlag for en tolkning av områdets geologiske historie. Man bør derfor avmerke fenomenene etter hvert som man gjør sine iakttagelser på stereomodellen, slik at man får materiale for tegningen av det geologiske kartet. Merkingen bør gjøres direkte på flybildene, da bruk av overliggende tracing i praksis viser seg lite heldig.

Det har vist seg u hensiktsmessig å bruke fettstifter og fargeblyanter fordi de gir for brede fargestriper og dekker for meget av bildet, slik at eksakt plotting ikke blir mulig, dessuten trykker fargeblyanter lett inn overflaten på bildet. Blekk eller tusj er best og særlig de vannløselige typene som lett kan vaskes av igjen. Alle linjer bør tegnes så tynne som mulig, slik at de dekker minst mulig av stereomodellen, maksimal tykkelse bør være 0,1 mm.

Man bør holde seg til et fast system av prikker og streker for merking av sprekker, forkastninger, bergartsgrenser, blotninger o.s.v., og merke de forskjellige bergarter i en blotning med bokstaver. Det er ofte en fordel å bruke to forskjellige farger, særlig om man skiller ut blotninger med den ene fargen.

Merking bør utføres slik at et og samme punkt aldri blir dekket med streker på begge av stereomodellens bilder.

†

### **Orientering av bildene for stereobetraktning og målinger.**

Øyets akkomodasjonsevne er ganske omfattende, og hvert øye kan i stor utstrekning fokuseres og innstilles individuelt, men dette fører før eller senere til tretthet og hodepine. Som en følge av menneskets evne til å innstille øynene er det mulig å se stereoskopisk selv

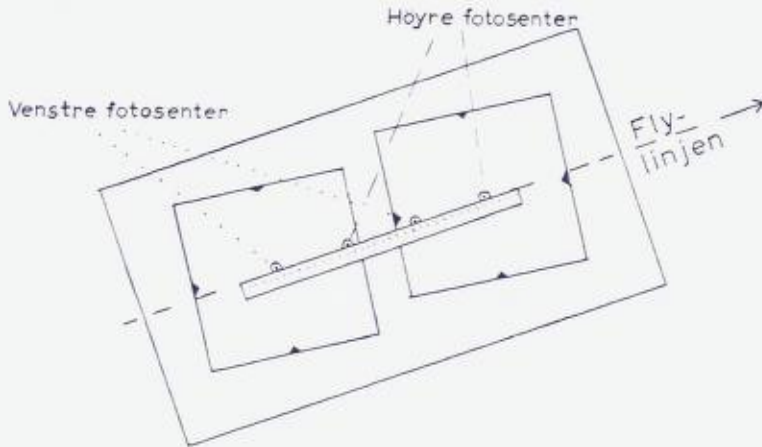


Fig. 3. Montering av flybilder for stereoskopisk betraktning. Fotosentrene ligger langs flylinjen.

om det ene bildet som gir stereomodellen beveges ganske meget i forhold til det andre bildet.

For å spare øynene ved analyseringen av flybildene og for å kunne omtegne de avmerkete data til et kart, er det imidlertid nødvendig at flybildene orienteres slik i forhold til hverandre som de var da de ble fotografert. D.v.s. at de optiske sentra må ligge på flylinjen, og planet gjennom stereoskopets optiske akser må være parallelt med flylinjen. Dette oppnår man på følgende måte. Langs bildenes rand er det ved eksponeringen innfotografert merker, og fotoets midtpunkt ligger i krysningsstedet for linjene mellom merkene. Midtpunktet av hvert bilde avmerkes, og midtpunktet på det venstre bildet må finnes igjen og merkes på riktig plass i terrenget på det høyre bildet, og tilsvarende for midtpunktet i det høyre bildet. Disse fire punktene må legges opp på en rett linje som vil representere flylinjen. Avstanden mellom midtpunktet på venstre bilde og det tilsvarende punkt i terrenget på høyre bilde skal være lik stereoskopets basislengde. (På store stereoskoper er basislengden som regel 21 eller 26 cm.) Når man bruker store stereoskoper kan bildene festes i denne stilling, og under betraktningen må stereoskopet parallelforskyves i forhold til flylinjen (fig. 3).

Ved detaljundersøkelser kan det imidlertid være nødvendig å justere plasseringen av det ene bildet litt, om man ikke har vært meget omhyggelig ved oppsetningen av bildene. Det kan nemlig oppstå van-

skeligheter ved skarpinnstillingen for detaljstudier ved stor forstørrelse på grunn av fortegninger i linsene og fordi film og papir har krympet. Dette kan det også korrigeres for ved å dreie på stereoskopet.

På store og mer utbyggede stereoskoper er det mulig å gjøre disse små korreksjonene ved hjelp av mekaniske eller optiske innretninger. Men er bildet tatt med et godt kamera, og resten av de fotografiske prosesser gjort omhyggelig, vil en slik korreksjon sjelden være nødvendig. Skal man foreta målinger på bildene må man ikke korrigere ved å forandre avstanden mellom bildene.

### Fotogrammetriske målinger.

Det er mulig på flybilder å foreta en rekke målinger som har geologisk interesse, som f. eks. måle høyder, strøk og fall. Man kan på grunnlag av målingene, gjøre volumberegninger, eller f. eks. følge en grusterrasse og finne dens gradient.

Svært ofte kan det være helt nødvendig å foreta målinger nettopp på grunn av relieffoverdrivelsen. På et flybildepar kan f. eks. det som for øyet ser ut som et fall på  $20^\circ$  ved betraktningen i stereoskopet i virkeligheten tilsvare  $6^\circ$  i naturen.

Strøk og fall kan måles ved at en bestemmer tre punkter, to punkter på en grunnlinje og det tredje høyere eller lavere. Ved så å måle avstand mellom grunnlinjen og punktet kan vinkelen lett beregnes. Målingene kan foretas uten at man kjenner til fotografiernes målestokk, da vinkelen blir den samme.

Målingene skjer ved at man måler paralaksen på flybildene. Paralaksen er avhengig av flybøyden, kameraets billedvinkel og et punkts høyde over det sted kameraets optiske akse treffer bakken. To punkter på et flybilde eller en stereomodell vil ha en paralakseforskjell dersom de ligger i forskjellig høyde.

For å finne et punkts paralakse måles først på det ene bildet avstanden fra punktet til bildets fotografiske sentrum (optiske aksepunkt), og så den tilsvarende avstand på det andre bildet. Målingene gjøres parallelt med flylinjen. Avstander målt til høyre for det fotografiske senteret sies å være positive og de målt til venstre er negative.

Man får da følgende uttrykk for paralaksen til et punkt:

$$P = \times - \times'$$

hvor  $\times$  er avstanden på det venstre bildet og  $\times'$  er avstanden på det høyre (fig. 4).



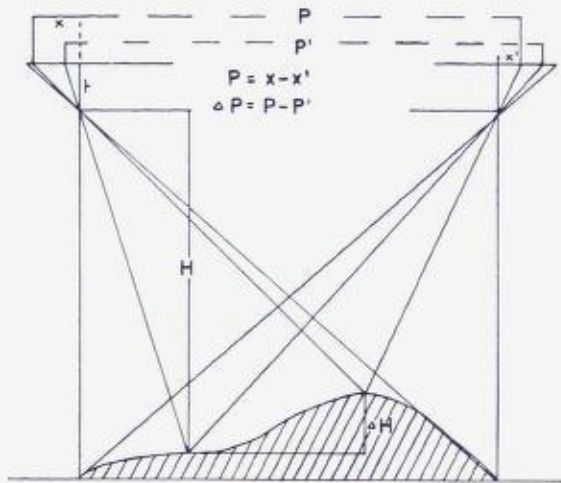


Fig. 4. Måling av paralaksedifferanser på flybilder. Se teksten.

$dP = P - P'$ .  $P$  og  $P'$  er paralaksen for de to punkter man skal måle høydeforskjellen mellom.

Det er et matematisk forhold mellom paralaksedifferansen  $dP$  og høydedifferansen  $dH$ , og paralaksedifferansen er således ikke avhengig av høydeforskjellen slik det ser ut for vårt øye p.g.a. relieffoverdrivelsen.

Til bruk ved høydeberegningene finnes en rekke formler som gir mer eller mindre tilnærmete verdier, f. eks.

$$dH = \frac{dP \cdot H}{ab + dP}$$

Her er flyets høyde ( $H$ ) beregnet på grunnlag av kameraets brennvidde og flybildenes målestokk ( $S$ ). ( $H = f.S.$ ), hvor  $S$  er målestokken i det laveste punktet.  $ab$  er basislinje i høyre bilde målt i mm, minus den målte paralaksedifferanse mellom det venstre fotografiske sentrum og punktet, også målt i mm. Basislinjen er avstanden mellom fotosentrene på et flyfotografi.

#### *Paralaksmikrometret.*

I praksis måles paralaksen ved hjelp av et paralaksmikrometer. Dette består av to glassplater som hver har et farget merke inngravert. Glassplatene kan beveges slik at avstanden mellom dem forandres.

Avstanden mellom de to fargete merkene kan avleses på en mikrometerskrue. Når avstanden mellom de to merkene i glassplaten er lik avstanden mellom et punkt i høyre bildet og det samme punkt i venstre bildet, slik de betraktes i stereoskopet, ser det ut som merkene faller sammen i et merke som ligger på terrengoverflaten i stereomodellen. For at merkene skal dekke hverandre må flybildene være nøyaktig montert, slik at den målte avstand blir parallel med flylinjen.

Når paralaksemikrometret er innstilt så merkene faller sammen og ligger på «bakken», noterer man hva mikrometerskruen står på, og paralaksen måles derpå for det punktet man vil finne høydeforskjellen til. Differansen mellom paralaksene,  $dP$ , brukes så ved beregningen av høyden. Har man ingen kjent høyde på bildene måles ut fra høyden i sentrum på venstre bilde. Paralakseavlesningen på mikrometerskruen for dette punktet tilsvarer stereoskopets basislengde.

Skal man f. eks. måle om en terrasse er flat føres bare paralaksemikrometret langs terrassen. Hvis det ser ut som om merket hever seg over terrenget synker terrassen, men går merket inn i bakken og deler seg stiger terrassen. Ved slike målinger må man være omhyggelig med å fokusere øynene på terrenget slik det fremkommer i stereomodellen, og ikke på de inngraverte merkene på paralaksemikrometret.

#### *Tegning av høydekurver.*

Tegning av høydekurver utføres etter samme prinsipp. Man finner ved beregning ut hvor stor den paralaksedifferanse er som tilsvarer f. eks. 10 m høydeforskjell og adderer denne  $dP$  til den neste koten man vil tegne. Etter at paralaksen er satt inn på paralaksemikrometret føres dette parallelt med flyretningen slik at merkene hele tiden faller sammen til et merke som ligger i terrenget. Ved en mekanisk tegneanordning overføres paralaksemikrometrets bevegelse til en penn.

Tegning av høydekurver på denne måten krever meget øvelse for å bli nøyaktig, og rent teknisk sett er det vanskelig å parallelforskyve et løst paralaksemikrometer. Er dette derimot festet til et tegneapparat blir tegningen av høydekurver lettere. I alle tilfeller er tegning av høydekurver en treningssak som utføres best av en øvet person. Målinger derimot vil man fort kunne klare å gjøre selv.

#### *Relieffortegning (radialfeil).*

Som tidligere nevnt fører reliefforskyvningen til store fortegninger på flybildene. Alle punkter som ligger høyere enn det fotografiske

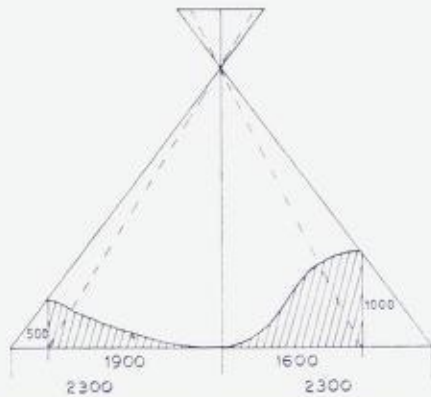


Fig. 5. Relieff fortegnning på et flybilde. Et punkt 1000 m.o.h., 1,6 km fra fotosentret blir fortegnet så dets avstand på flybildet tilsvarer 2,3 km.

sentrum vil bli forskjøvet slik at de på bildet blir liggende lengre fra sentrum enn de gjør i virkeligheten, og alle punkter som ligger lavere blir liggende forholdsvis nærmere det fotografiske sentrum på bildet.

Man må ta hensyn til fortegningsene ved målinger på et flybilde, f. eks. når man skal bestemme målestokken bør avstanden måles mellom to punkter som ligger like høyt. Målestokken på flybildene vil som følge av reliefforskyvning være forskjellig i punkter med ulike høyder.

Det følgende vil gi et eksempel på hvor stor fortegningsfeilen blir ved overføring av et punkt (en geologisk observasjon) fra et flybilde til et kart hvis dette gjøres uten noen korreksjoner. Med et 15 cm kamera er det fotografert i målestokk 1: 20 000. En observasjon gjort på toppen av et fjell som hever seg 1000 m over det punkt i terrenget hvor fotosentret ligger, vil, dersom fjellet ligger i kanten av flybildet (i flyretningen), bli liggende 2,3 km fra flybildets sentrum og ikke 1,6 km som er den virkelige avstanden. Er fjellet 500 m høyt blir fortegnelsen 0,4 km (2,3 km) mens det korrekte er 1,9 km. (Fig. 5). Et resultat av dette er at flybildemosaikken kan bli meget feilaktig.

#### *Tegning av kart.*

Som det vil ha fremgått av det ovenfor nevnte om radialfeil er et flybilde ikke et kart med en bestemt målestokk for alle deler av bildet. Har man derfor ved arbeidet på stereomodellen eller ved bruk av flybilder under kartleggingen ute i marken, fått en rekke geologiske



observasjoner som skal overføres fra flybildene til et basiskart, må man først korrigere feilene.

Basiskartet kan i denne forbindelse være et trykt topografisk kart fra NGO, eller et kart man selv tegner, f. eks. ved hjelp av vann- og veisystemet (plankart). I begge tilfeller har man en bestemt målestokk på kartet og derfor må tegneapparatet ha mulighet for å forstørre eller forminske fra flybildene, f. eks. ved hjelp av en pantograf.

I Norge er det mulig at flyet kan ha beveget seg en del opp og ned under fotograferingen, og korreksjoner for målestokkavvikler fra billedpar til billedpar kan være nødvendig fordi de forskjellige stereomodeller har forskjellig målestokk. Ved nøyere plankarttegning må man kjenne koordinatene til noen punkter i stereomodellen, slik at målestokken kan justeres.

Overføringen av et punkt på stereomodellen til plankartet kan oppfattes som en slags fremskjæring. Man sikter fra to kjente steder, nemlig fotosentret i hvert av bildene, til punktet, og får en skjæring av siktelinjene som gir den korrekte plotning av punktet. Retningen fra billedsentret til et hvilket som helst punkt i bildet forandres ikke selv om avstanden blir forandret ved relieffortegningen.

### **Tilt.**

Det vanskeligste problemet for alle målinger og all karttegning ved hjelp av flybilder er ennå ikke nevnt. Hittil har forutsetningen vært det ideelle tilfellet, nemlig at midtpunktet på fotografiet, d.v.s. kameraets optiske akse, treffer bakken på samme sted som loddlinjen fra flyet; med andre ord, at flyet har ligget horisontalt i eksponeringsøyeblikket. Dette er ofte ikke tilfelle, og man får inn et falskt relieff på stereomodellen. Et punkt som ligger på den siden flyet krenger mot vil se ut som det ligger høyere enn et punkt på den siden flyet krenger fra.

På bilder som er tatt i det flyet avvek fra horisontalplanet sier man at det finnes «tilt», d.v.s. avbøying. I slike tilfeller kan det se ut som bekken renner den gale veien o.s.v.

Fordi avbøyingen kan være forskjellig for de to bildene som tilsammen gir stereomodellen vil ikke bare en horisontal flate se ut som en skråning, men man risikerer også at den får en krum form. Målinger av høydedifferanser som er gjort på flybilder tatt under slike forhold vil naturligvis bli gale.

Man vil lettest kunne oppdage tilt ved å betrakte stereomodellen i et speilstereoskop hvor man ser hele eller mesteparten av modellen på en gang. I små håndstereoskoper kan dette ofte være vanskelig p.g.a. linsens fortegnelse, det vil da se ut som om terrenget bøyer opp mot kanten av synsfeltet. Ved å måle kjente høydedifferanser, eller en vannflate, vil man lett oppdage tilt på flybildene.

På flybilder tatt i Norge er tilt dessverre ofte temmelig generende, og dette skyldes flere faktorer: På norske breddegrader, og med vanlige norske værforhold, kan det være bare noen få dager i året som egner seg til flyfotografering, og i enkelte landsdeler kan det kanskje gå flere år mellom hver gang det er gode fotograferingsforhold. Når det er pent vær uten skyer og luften er klar gjelder det derfor å fotografere størst mulig område. Terrengforholdene i Norge forårsaker dessuten termiske luftstrømmer som kan være meget generende, særlig ved fotografering i forholdsvis lav høyde. Dette resulterer i tilt på flybildene. Tilt vil lett kunne korrigeres i de store instrumentene som brukes til topografisk karttegning både av NGO og Widerøe, og ved fotograferingen tas det derfor ikke stort hensyn til tilt.

Arbeider man innen et ganske lite område på et flybildesett vil ikke en liten tilt være nevneverdig generende. Men en tilt på bare  $1^\circ$  vil på fotografier i målestokk 1:20 000 gi en høydeforskjell på ca. 85 m fra den ene enden av stereomodellen til den andre. Fra Norge finnes flyfotografier med opp til  $10^\circ$  tilt.

Man kan få samme effekt som tilt om man ikke er omhyggelig med monteringen av flybildene og f. eks. dreier det ene bildet i forhold til flylinjen, eller merker av et fotosenter galt. Dette vil man lett kunne se om man som prøve monterer et bilde litt skjevt og undersøker resultatet.

#### *Korreksjon av tilt.*

Korreksjonene for tilt kan gjøres på flere måter, enten optisk eller mekanisk. I begge tilfeller må man ha noen passpunkter med kjente koordinater innen hver stereomodell. Paralaksedifferansen kan da utregnes for passpunktene i relasjon til det fotografiske sentret, og denne verdien kan sammenholdes med den som måles på stereomodellen. Avvikelsen mellom den målte og den beregnede paralaksedifferanse kan så brukes som en korreksjonsfaktor. Korreksjonsfaktoren kan derpå enten settes inn på det mekaniske overføringsapparatet i et stereoskop med tegneutstyr av typen Zeiss stereotop, eller den kan



benyttes til korreksjon i oppsetningen av diapositivene i en optisk projeksjonsplotter av typen Multiplex eller andre som bygger på det samme prinsippet.

I enklere tilfeller kan man korrigere for tilt ved arbeider på papirbilder under et vanlig speilstereoskop. Man stiller holderen for papirbildene skrått slik at bildene får en tilsvarende orientering som filmen hadde i eksponeringsøyeblikket. Vanskeligheten ligger da i å foreta målinger på et slikt skrått oppstilt billedpar. Stereomikrometret må da erstattes av et optisk system, slik at prikkene i virkeligheten befinner seg oppe i luften et stykke over fotografiene.

Skal man tegne høydekurver sier det seg selv at korreksjon for tilt er helt nødvendig, og likeledes om man skal måle terrasseflater o. l. ved kvartærgeologiske arbeider. Derimot ved undersøkelser hvor målingene bare foregår på et lite område av flybildeparret er korreksjon ikke helt nødvendig. Strøk- og fallmålinger blir i regelen ikke så gale dersom det dreier seg om steile fall.

#### *Overføring av data fra flybilder til kart.*

Ved overføring av geologiske observasjoner til et basiskart eller plankart kan det lett oppstå vanskeligheter med tiltfeil, og en viss korreksjon er nødvendig. Slike korreksjoner er ikke vanskelig å foreta dersom man har et godt topografisk basiskart. Koordinater og høyder for punkter som er lett kjennelige på flybildene brukes som passpunkter. Det uheldige er at man de fleste steder i Norge har kart som er for dårlige til skikkelige passpunktbestemmelser. Man kan imidlertid konstruere seg frem på grunnlag av noen få kjente trigonometriske punkter ved hjelp av fotogrammetrisk triangulering, eller ved «radial- eller slotted templets». Disse metodene kan gi en meget stor nøyaktighet, men blir for spesielle for den enkelte geolog, og vil ikke bli behandlet her.

#### **Instrumenter for karttegning.**

Det finnes en rekke apparater for tegning (med korreksjon) både av plankart og høydekurvekart. Alle disse apparatene kan selvsagt også brukes til å overføre geologiske data fra flybilder til kart, de korrigerer da både for radialfeil og for feil som skyldes tilt. Flere forskjellige instrumenter er nevnt ovenfor.



Instrumentene finnes i forskjellige prisklasser, alt etter hvilke nøyaktighetskrav man stiller til kartleggingen. De dyreste koster ca. 4—500 000 kr., men i prisklassen 50 000 kr. finnes det meget gode optiske apparater (projeksjonsplottere) spesielt egnet både for fotogeologisk analyse og for geologisk karttegning utført i samme arbeidsoperasjon. Instrumenter med mekanisk korreksjon og gode nøyaktighetskrav (for fotogeologi) finnes til ca. 20 000 kr., mens i prisklassen 10 000 kr. finnes instrumenter hvor papirbilder stilles skrått.

Enklere og billigere instrumenter kan i regelen ikke utføre de målinger og/eller korreksjoner som de større kan, og som oftest gir de ikke mulighet til korrigering av tilt. På en del av apparatene kan man tegne relative høydekurver, ikke tilt-korrigererte, andre kan bare brukes til korreksjoner av radialfeil som skyldes relieffortegningen. Den siste type instrumenter koster ca. 2000 kr.

#### *Valg av instrumenter.*

En større institusjon hvor det vil bli utført meget fotogeologisk arbeid trenger en rekke stereoskoper av speiltypen, med mulighet for detaljstudier. Dessuten trengs en plotter som helst kan korrigere for tilt, og hvis det er ønskelig at man konstruerer egne høydekurvekart bør det være en plotter som også kan gjøre dette.

Regner man med forholdsvis mange omfattende arbeider med stor nøyaktighetsgrad, slik at instrumentets kapasitet vil bli fullt utnyttet, vil det lønne seg å kjøpe en plotter som bygger på projeksjonsprinsippet, da hastigheten for plotting (og fotogeologiske studier) på et slikt apparat er vesentlig høyere enn på de billigste, små plottene.

I USA har man foretatt to fotogeologiske undersøkelser over samme landområde, begge med den forutsetning at det ikke var noen tilt på bildene. Fotogeologisk analyse og samtidig karttegning tok 4 dager med projeksjonsplotter, mens analyse ved hjelp av speilstereoskop og omtegning til plankart med en radial plotter tok 15 dager (muntlig meddelelse av R. S. Morris).

De samme forhold ved instrumentvalg vil også gjøre seg gjeldende om karttegningen (undersøkelsen) skal gjøres i områder som er vanskelig tilgjengelige, og hvor sesongen er kort, slik at feltarbeidet blir meget dyrt. Man kan nemlig arbeide langt mer nøyaktig og studere flere detaljer ved å anvende diapositiver i et kombinert stereoskop og plotter (projeksjonsplotter), enn man kan gjøre på papirbilder.

Nøyaktighetsgrensen for en projeksjonsplotter av typen Kelsh, oppgis å være 5—6 fot ved vertikale målinger på bilder i målestokk 1: 70 000 tatt under gunstige forhold.

### *Spesialisering.*

En stor del av det fotogeologiske arbeidet i USA, Canada og Afrika gjøres i dag av spesialister, og det finnes selskaper som bare driver med fotogeologi på konsulentbasis. Jo mer man arbeider med fotogeologi, desto mer ser man av geologiske fenomener på flybildene. Men det vil ofte være en fordel om omtegningen fra de avmerkede iakttagelser på flybildet til plankartet eller høydekurvekartet blir gjort av en person som har en del øvelse i dette.

### **Fargebilder.**

Ved fotogeologiske undersøkelser vil fargeflybilder utvilsomt representere et stort fremskritt og det eksperimenteres med slike. En vanskelighet er at fargene ikke vil bli de riktige, da fargetemperaturen bl. a. vil variere med solens stilling og terrengets helning. Imidlertid bør fargebilder likevel kunne være brukbare om man er oppmerksom på disse svakhetene når man analyserer bildene. Det er nemlig ikke egenfargen på bergartene som interesserer som et absolutt, men fargens avvikelse fra fargen på nabobergartene. Godtar man dette er det også av mindre betydning om fargene forandrer seg fra den ene enden av stereomodellen til den andre, eller fra en stereomodell til en annen.

Ved bruk av fargebilder er det absolutt best å arbeide med diapositiver, men fordi diapositivene må betraktes på et lysbord vil mange vanlige plottere for papirbilder ikke kunne brukes. De optiske projeksjonsplottere må i tilfelle utstyres med polariserte optiske systemer.

Prisen for fargeopptak av flybilder vil for filmens vedkommende antagelig være 3—4 ganger så høy som for sort-hvitt, men i alle tilfeller er råfilmens kostende bare en meget liten del av omkostningen ved flyfotografering.

### **Konklusjon.**

Fotogeologiske studier er et hjelpemiddel for feltarbeidet ved geologiske undersøkelser. Man vil på flybilder som betraktes stereoskopisk kunne se en rekke geologiske fenomener, og ved å tegne disse observasjonene på et kart blir man i stand til å skaffe seg en oversikt over et områdes geologiske oppbygging. Med et slikt kart som grunnlag

har man et godt utgangspunkt for feltarbeidet. Man kan også ved hjelp av fotogeologisk arbeide lett «fylle ut» kartleggingen og konsentrere en større del av feltarbeidet om viktigere punkter. Meningen ved fotogeologi er at det skal spare tid for geologen, og således gjøre ham i stand til å utføre mere og bedre feltarbeid.

Til slutt vil jeg få rette en takk til Richard O. Ray og Robert S. Morris ved U.S. Geological Survey for det grunnlaget i fotogeologi og fotogrammetri som de ga meg.

### **Summary.**

#### *Photogeology.*

The use air photos for geological interpretation is described. A short introduction to photogrammetry is given, and types of instruments useful for photogeology are mentioned.