

SUOMEN METSÄTIETEELLINEN SEURA — FINSKA FORSTSAMFUNDET
(SOCIETY OF FORESTRY IN SUOMI — FORSTWISSENSCHAFTLICHE GESELLSCHAFT
IN SUOMI — SOCIÉTÉ FORESTIÈRE IN SUOMI)

SILVA FENNICA

48.

ILMAVALOKUVAUKSEN MERKITYKSESTÄ
METSÄTALOUDESSAMME

R. SARVAS

*ÜBER DIE BEDEUTUNG DER LUFTFOTOGRAMMETRIE IN
UNSERER WALDWIRTSCHAFT*

HELSINKI 1938

SILVA FENNICA

N:o 48 (1938)

Suomen Metsätieteellisen Seuran julkaisusarjat:

ACTA FORESTALIA FENNICA. Sisältää Suomen metsätaloutta ja sen perusteita käsitteleviä tieteellisiä tutkimuksia. Ilmestyy epäsäännöllisin väliajoin niteinä, joista kukin yleensä käsittää useampia tutkimuksia.

SILVA FENNICA. Sisältää Suomen metsätaloutta käsitteleviä kirjoitelmia ja pienehköjä tutkimuksia. Ilmestyy epäsäännöllisin väliajoin. Kukin kirjoitus muodostaa yleensä oman niteen.

COMMENTATIONES FORESTALES. Sisältää muiden maiden kuin Suomen metsätaloutta ja siihen liittyviä aihepiirejä käsitteleviä tutkimuksia ja muita kirjoituksia. Ilmestyy epäsäännöllisin väliajoin. Kukin nide sisältää yleensä vain yhden tutkimuksen.

Finska Forstsamfundets publikationsserier:

ACTA FORESTALIA FENNICA. Innehåller vetenskapliga undersökningar rörande skogshushållningen i Finland och dess grunder. Banden, vilka icke utkomma periodiskt, omfatta i allmänhet flere avhandlingar.

SILVA FENNICA. Omfattar uppsatser och mindre undersökningar rörande skogshushållningen i Finland. Utkommer icke periodiskt; varje uppsats som skilt band.

COMMENTATIONES FORESTALES. Innehåller undersökningar och andra uppsatser rörande skogshushållningen och i samband med denna stående frågor utom Finland. Utkommer icke periodiskt. I allmänhet ingår i varje band endast en avhandling.

ILMAVALOKUVAUKSEN MERKITYKSESTÄ METSÄTALOUESSAMME

R. SARVAS

Über die Bedeutung der Luftfotogrammetrie in unserer Waldwirtschaft

Sisällysluettelo:

	Sivu
Johdanto	2
Ilmavalokuvaukseen perustuva kartoitus	4
Maisemakuvat	5
Viistokuvat	6
Pystykuvat	7
Stereo-kuvat	14
Ilmavalokuvaukseen perustuva metsänarvioiminen	22
Ilmakuvien tulkinnassa käytetyistä kojeista	33
Näkökohtia ilmavalokuvauksen merkityksestä metsätaloude- ssamme	37
Kirjallisuusluettelo	40
Referat	42
Kuvat.— Bilder	45

Johdanto.

Esitykseni ilmavalokuvauksen merkityksestä metsätaloudessamme perustuu parin kuukauden opiskeluun kesällä v. 1936 Dresdenin teknillisen korkeakoulun ilmavalokuvausosastossa (Technische Hochschule, Dresden; Abteilung Forstliche Hochschule, Tharandt, Institut für Forstingenieurwesen und Luftbildmessung). Zeiss-Aerotopograph G. m. b. H. Jena on asettanut alan viimeiset uutuutensa tämän laitoksen käytettäväksi. Niihin tutustuin käytännöllisesti laitoksen assistentin johdolla. Laitoksen kirjastossa olin tilaisuudessa perehtymään ilmavalokuvauksen teoriaan sekä huomattavimpien Saksassa metsätaloutta silmällä pitäen suoritettujen ilmavalokuvausten suoritustapaan ja käytännöllisiin tuloksiin. — Zeissin tehtailla Jenassa tutustuin eräisiin meillä mahdollisesti kysymykseen tuleviin, suhteellisen yksinkertaisiin ilmavalokuvien tulkinta-kojeisiin.

Rohjetessani esitykseni yhteydessä esittää näkökohtia ilmavalokuvauksen mahdollisesta merkityksestä metsätaloudessamme, lähinnä metsätalouden järjestelyssä ja metsänhoidossa, nojaudun Metsähallituksen arvioimisosastossa ja Metsähallinnon Perä-Pohjolan piirikunnassa avustavana metsänhoitajana saamaani kokemukseen.

Puolustusministeriön topografikunnasta ja Maanmittaushallituksen ilmakehuosastosta olen saanut nähtäväkseni meikäläisiä ilmavalokuvia; se onkin ollut tarpeellista Saksassa saavutettujen tulosten merkitystä meille arvosteltaessa.

— Suotavaa olisi ollut, että olisi ollut tilaisuus saksalaisia menetelmiä ja tulkinta-kojeita käyttäen ilma-arvioida muutamia meikäläisiä sopivasti otettuja ilmakehuja. — Toivottavasti siihen tarjoutuu myöhemmin tilaisuus.

Parhaat kiitokseni lausun professori Yrjö Ilvessalolle, joka aluksi kiinnitti huomioni esillä olevaan aiheeseen ja myöhemmin on opastanut minua arvokkailla neuvoillaan. Erityisesti olen kiitollinen professori tri.-ins. R. Hagershoffille, joka ystävä salli minun työskennellä

laitoksessaan ja johdatti minut heti alussa metsätaloudellisesti kiintoimpiin kysymyksiin. Professori Erik Lönnroth ja metsäneuvos V. Lihtonen ovat ystävällisesti tutustuneet käsikirjoitukseeni ja kiinnittäneet huomioni useaan tarkistusta kaivanneeseen kohtaan; ins. majuri K. Löfström on antanut hyödyllisiä neuvoja tutkielmaan liittyvissä teknillisissä kysymyksissä. Heille kaikille olen tästä syvästi kiitollinen. — Kiitollisuudella mainitsen saaneeni Suomen Metsätieteelliseltä Seuralta Smk. 5 000: — apurahan opiskeluni varten Saksassa.

Ilmavalokuvauksen merkitys metsätaloudelle perustuu lähinnä sen avulla suoritettavaan metsämaiden kartoitukseen ja metsien arvioimiseen. Tarkoituksenmukaiset ilmavalokuvat muodostavat lisäksi jo sinänsä arvokkaan historiallisen aineiston metsien tilasta määrättyinä aikoina. — Ilmavalokuvia voidaan myös käyttää apuna useiden teknillisten tehtävien ratkaisussa.

Ilmavalokuvauksen ja maastossa suoritettuihin mittauksiin perustuvien (terrestristen) menetelmien mukaan suoritettua kartoitusta ja metsänarvioimista toisiinsa verrattaessa kiintyy huomio lähinnä työn nopeuteen, tulosten monipuolisuuteen ja tarkkuuteen sekä kustannusten suuruuteen. — On kuitenkin huomattava, ettei tulosten suoranainen vertaaminen kohta kohdalta ole mahdollista, koska ilmavalokuva »karttana» tai »metsänarviokirjana» sisältää tietoja, joita ei esiinny vastaavissa terrestrisissä — ja päinvastoin. Mutta itse asiassa ilmavalokuvauksen merkitystä metsätaloudelle arvosteltaessa ei lieneäkään tärkeintä selvittää, missä määrin ilmavalokuvaus voi korvata terrestrisiä menetelmiä, vaan pikemminkin, miten se sopivimmin helpottaa ja täydentää niitä.

Seuraavassa ei pyritä esittämään mitään täydellistä selostusta kaikista ilmavalokuvaukseen perustuvista kartoitus- ja metsänarvioimismenetelmistä; niiden suhteen viitataan asianomaiseen kirjallisuuteen. Tarkoituksena on vain lyhyesti esittää, mitä metsätalouden kannalta huomattavia karakteristikoita (kvalitatiivisia ja kvantitatiivisia) parhailla tulkinta-välineillä voidaan saada mahdollisimman tarkoitustaan vastaavista ilmakehuista sekä mitä näkökohtia metsätalouden kannalta olisi huomioonotettava ilmavalokuvausta suoritettaessa sen tulevaisuudessa saadessa mahdollisesti yhä laajenevan käytännön meidänkin maassamme. —

Esitetyistä saksalaisista ilmavalokuvauskojeista on sekaannusten välttämiseksi yleensä käytetty niiden saksalaista nimeä. Milloin on käytetty vakiintumattomia suomalaisia ammattisanoja, on selvyuden vuoksi vastaava saksalainen sana mainittu suluisissa.

Ilmavalokuvaukseen perustuva kartoitus.

Ilmavalokuvaukseen perustuva kartoitus on kehittynyt terrestrisistä valokuvaukseen perustuvista kartoitusmenetelmistä. Koska terrestrisiä menetelmiä voidaan käyttää tuloksellisesti vain verraten epätasaisessa, vuorisessa maastossa (esim. Sveitsissä ja Norjassa), on ilmavalokuvaus nykyään saavuttanut verrattomasti sitä huomattavamman merkityksen. Jättiläisaskelin se on varsinkin maailman sodassa ja sen jälkeen kehittynyt. — Ilmakuukartoituksen saavuttama suosio perustuu lähinnä sen työnopeuteen ja useimmissa tapauksissa ainakin odotettuun kustannusten pienemiseen.

Seuraavassa tarkastellaan lyhyesti tärkeimpiä ilmavalokuvausmenetelmiä ja niihin perustuvaa kartoitusta. — Lentokoneesta käsin suoritettu käsivarainen kartoitus (krokeeraus), karttojen täydentäminen ja metsänarvioiminen sivuutetaan tässä, koska ne meikäläisissä oloissa ovat yleensä liian ylimalkaisia. Esim. Kanadassa ja Yhdysvalloissa sekä yleensäkin ekstensiivisissä olosuhteissa on niitä kuitenkin käytetty varsin laajassakin mitassa.

Ilmavalokuvaus suoritetaan mieluummin keväällä, lehtipuiden juuri puhjettua lehteen — silloin ne näet eroittautuvat ilmakuviissa selvimmin havupuista. Koska puiden varjot helposti peittävät kaikki niihin sattuvat yksityiskohdat, olisi ne supistettava mahdollisimman vähiin¹: valokuvattava keskipäivällä (noin klo. 9—15) varjojen suuntaan — onpa metsätaloudellista ilmavalokuvausta suoritettu puiden ollessa lehdettöminäkin varjostuksen vähentämiseksi (Rief 1936). — Taivaan tulisi olla pilvettön ja kirkas, ilman tyyni. Pilvien varjot ja ilman auer tekevät ilmakuviat epäselviksi. Tuulella puut liikkuvat, tulevat eri asennoissa kuvaparin eri kuviin, ja sen vuoksi kuvien stereo-vaikutus sotkeutuu, sekä puiden pituusmittaus kuvista käy virheelliseksi. — Pohjois-Amerikassa yritettiin ilmavalokuvausta aloittaessa yhdistää se kulontorjunnassa suoritettuihin lentoihin. Tämä osoittautui kuitenkin mahdottomaksi juuri »kuloajalle» ominaisen savun ja autereen vuoksi.

Ilmavalokuvaus, erityisesti metsätaloudellinen ilmavalokuvaus, aset-

¹ Meidän leveysasteillamme aurinko on keskipäivällä kesälläkin siksi alhaalla, että puiden ym. varjot tulevat joka tapauksessa ilmakuviin riittävän suurina — aivan varjottomat, tropiikeissa otetut ilmakuviat (esim. Stamp 1915) ovat yksitoikkoisen näköisiä, ja metsästä ne antavat epäselvän kuvan.

taa erikoisen suuret vaatimukset käytettävälle valokuvausmateriaalille, levyille tai filmeille. — Nykyään valmistetaan jo levyjen veroisia filmejä, ja kun filmien käsittely kaikissa suhteissa on verrattomasti mukavampaa kuin levyjen, ovat ne yleensä työntäneet levyt käytännöstä. Ilmavalokuvauksessa käytettävien filmien tulisi olla erittäin valonherkkiä (lyhyen valotusajan vuoksi) ja erityisesti juuri suurimmille valon aaltopituuksille (vihreä, keltainen, punainen), jotka muodostavat maiseman päävärit. Tavallinen bromihoepakalvo on kuitenkin päinvastoin herkin juuri lyhyimmille aaltopituuksille (siniselle ja ultravioletille), mikä muodostuu erityisen haitalliseksi sen vuoksi, että ns. ilmavallo (saks. Luftlicht) sisältää juuri näitä valonsäteitä ja aiheuttaa tämän vuoksi helposti valokuvan hunnuttumisen (vrt. s. 10 alim. 3). Tätä epäkohtaa on pyritty poistamaan valmistamalla erityisiä vihreälle ja keltaiselle värille herkistettyjä, ns. ortokromaattisia filmejä, mutta niiden ortokromaattisuudessa (so. oikeavärisyydessä) on kuitenkin paljon toivomisen varaa, kuten jokainen valokuvausta harrastanut tietää; keltasuodattimen kera käytettyinä ne kuitenkin vähentävät ilmavalosta johtuvaa valokuvien hunnuttumisvaaraa.

Viime aikoina on ruvettu ilmavalokuvauksessa käyttämään yhä yleisemmin myös ns. pankromaattisia filmejä (vrt. esim. s. 13), jotka on herkistetty erityisesti myös punaisille valonsäteille, punaisen suodattimen kera käytettyinä saadaan niiden avulla valokuvan hunnuttumisvaara vieläkin pienemmäksi kuin ortokromaattisia filmejä käyttäen. Pankromaattiset filmit eivät ole herkkiä vihreille valonsäteille — niiden kehittämisenkin tapahtuu sen vuoksi juuri vihreässä valossa — metsäkuviin ne eivät niin ollen tunnu sovelialta.

Maisemakuviat.

Maisemakuviat (saks. Ansichtsaufnahme) otetaan aivan alhaalta pienessä horisontaalikulmassa. Ilmakuviista ne muistuttavat eniten tavallisia maasta käsin otettuja maisemakuvia (vrt. kuva 1). Valokuvattu paikka näkyy niissä kuitenkin paremmin kokonaisuudessaan, ja sen sijainti esiintyy selvempänä. Maisemakuviat soveltuvatkin varsin hyvin kysymyksessä olevan paikan havainnolliseen kuvaamiseen. — Tällaisia maisemakuvia on meilläkin viime aikoina alettu yhä runsaammin käyttää tieteellisissäkin teoksissa maiseman ja sen yksityiskohtien selostamiseen.



Kuva 1. Lentokoneesta otettu maisemakuva Ukko-Kolilta. Lentokorkeus 100 m. Yliopiston metsänhoitotieteellisen laitoksen kokoelmista.

Viistokuvat.

Viistokuvat (saks. Schrägaufnahme) otetaan maisemakuvia korkeammalta ja suuremmissa horisontaalikulmassa (tavallisesti 30° — 60°). Viistokuvien kuva-ala on laajempi kuin maisemakuvien; sen vuoksi ne soveltuvat erityisesti maiseman yleispiirteiden kuvaamiseen.

Viistokuvien antama kuva maiseman yksityiskohdista on epätäydellinen, koska maastokohoutumien taakse aina jää kuvassa näkymätön alue — mitä pienempi horisontaalikulma sitä suurempi. Jos horisontaalikulma on esim. 45° , peittyy alue, joka pituudeltaan on kysymyksessä olevan kohouman korkeuden suuruinen, ja horisontaalikulman pienentyessä 17° :en suurenee tuo näkymätön alue kohouman kaksinkertaisen korkeuden pituiseksi.

Metsäisestä maastosta maisemakuvien antama kuva on puutteellinen, koska maa ei yleensä tule näkyviin; tiet, purot, jne. jäävät suureksi osaksi puiden taakse näkymättömiin.

Viistovalokuvaus on ollut tärkein Pohjois-Amerikassa — niin Kanadassa kuin Yhdysvalloissakin — käytetyistä ilmavalokuvausmenetelmistä. Valokuvaus tapahtuu verraten korkealta (noin 3 000 m) pieneen mittakaavaan, usein krokeerauksen yhteydessä. Ilmakuvista piirretään pienmittakaavainen kartta («4:n mailin kartta», mittakaava 1 : 253'440) tavallisesti käsivaraisesti erityisen perspektiivi-verkoston avulla. Saatujen karttojen tarkkuus on luonnollisesti varsin suurpiirteinen, ja niillä erotetut «metsätyypit» erottavat pääasiassa vain hakkuukelpoiset metsät taloudellisesti vähä arvoisista alueista.

Pystykuvat.

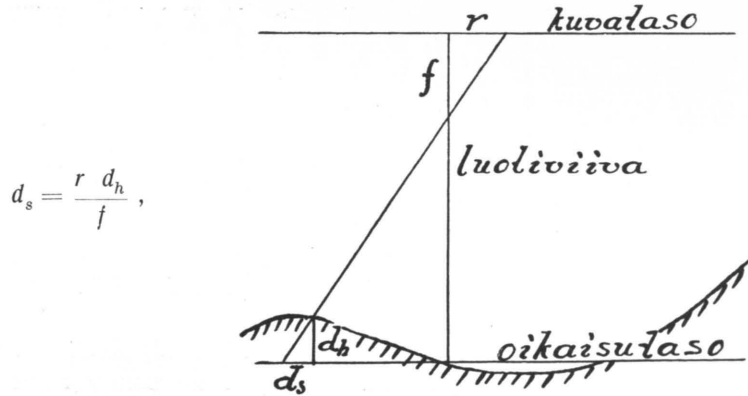
Pystykuvat (saks. Senkrechtaufnahme) otetaan jyrkästi alaspäin, mahdollisimman tarkoin 90° :n horisontaalikulmassa. Niiden kuva-ala on pienempi kuin viistokuvien, mutta yksityiskohdat esiintyvät sitä tarkemmin. — Ne vastaavat luonteeltaan lähinnä karttaa (vrt. kuva 12). Kartoitusta varten yleensä pyritäänkin ilmakuviin ottamaan luotiviivan suunnassa.

Pystykuvan asetetaan sitä tarkasteltaessa mieluummin siten, että varjot lankeavat tarkastelijan päin; tällöin näkyvät maaston korkeussuhteet luonnonmukaisimpina.

Aivan tasaisesta, vaakasuorasta maastosta tarkasti pystysuoraan alas otettu ilmakuva vastaa kysymyksessä olevan alueen karttaa — sisältäen kuitenkin enemmän yksityiskohtia. Tällaisesta teoreettisesta tapauksesta todelliset pystykuvat aina poikkeavat sikäli, ettei maasto ole aivan tasainen eikä valokuvaussuunta tarkoin pystysuora.

Kun valokuvaussuunnan poikkeama pystysuorasta on vähäinen, voidaan siitä aiheutuva virheellisyys korjata joko graafisesti tai tarkoitusta varten rakennetuilla oikaisukojeilla (saks. Entzerrungsgerät), jos tuo poikkeama tai neljän kuvassa esiintyvän pisteen (kiintopisteen) asema tunnetaan. Oikaisun periaatteena on alkuperäisen kuvan (negatiivin) projisioiminen uudestaan tuossa poikkeamakulmassa. Samalla saadaan uusi kuva (positiivi) haluttuun mittakaavaan. — Oikaisun edellyttämien kiintopisteiden määrääminen maastossa muodostuu yleensä suhteellisen hankalaksi ja kalliiksi; tavallisesti se suoritetaan kolmio- ja monikolmiomittauksiin perustuen. Meillä se tulee maksamaan noin Smk. 600—700: — kiintopistettä kohden (M a r t t i 1936).

Maaston epätasaisuudesta syntyy pystykuviin virheellisyyksiä sen vuoksi, että valokuva ei ole pysty- vaan keskusprojektio; kaikkien lopullisesta oikaisutasosta eroavien maastopisteiden asema (kuvan keskusta lukuun ottamatta) on sen vuoksi enemmän tai vähemmän virheellinen. Tämä selviää oheisesta piirroksesta. Siitä näkyy lisäksi, että virheellisydet kasvavat kuvan laitaosia kohden seuraavassa suhteessa:



$$d_s = \frac{r d_h}{f},$$

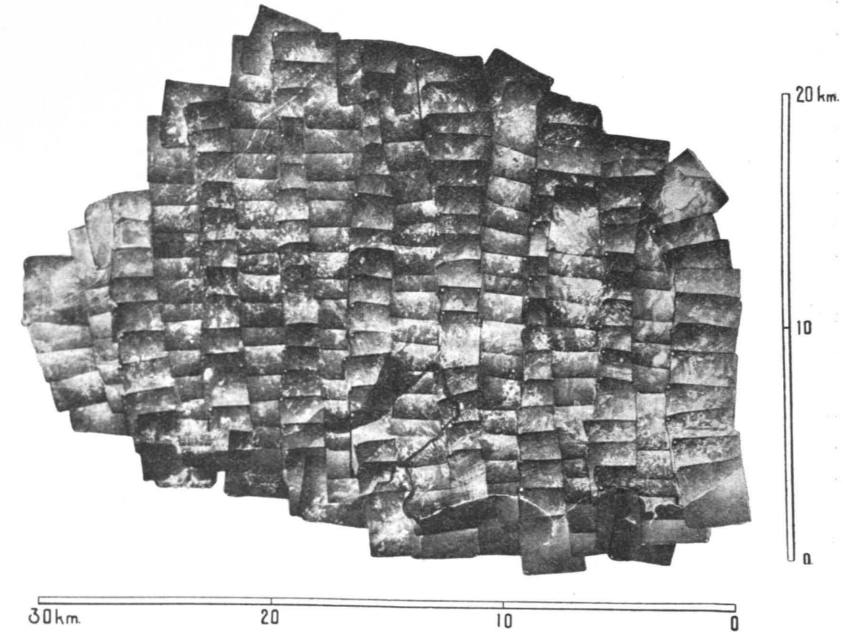
jossa d_s = virheen todellinen pituus, d_h = kysymyksessä olevan maastopisteen etäisyys oikaisutasosta, r = tuon pisteen kuvan etäisyys kuvakeskuksesta ja f = kameras polttoväli. Jos käytetään esim. kameraa $f = 21$ cm ja levykokoa 18×18 cm, niin 10 m:n korkeusero keskimääräisestä maaston korkeudesta aiheuttaa kuvan kulmassa asemavirheen:

$$d_s = \frac{10 \cdot 9 \cdot \sqrt{2}}{21} = 6.1 \text{ m.}$$

Lisäksi eri korkeuksilla ja siis myös eri valokuvausetäisyyksillä olevat maaston kohdat tulevat valokuvaan eri mittakaavoissa.

Jotta suurimmat virheellisydet sisältävät kuvien laitaosat voitaisiin jättää huomioon ottamatta, otetaan pystykuvat tavallisesti siten, että vieriset kuvat peittävät toisiaan niin pituus- kuin poikkisuunnassakin (noin 30×30 %; pitkittäis- ja poikkittäispeitos, saks. Längs- u. Querüberdeckung). Kuvien keskinäisen orientoimisen helpottamiseksi ja maastossa välttämättä mitattavien kiintopisteiden vähentämiseksi ns. kuvakolmiotia (saks. Bildtriangulation) käyttäen suoritetaan pystyvalokuvaus usein vieläkin suurempaa kuvien keskinäistä peitosta käyttäen (aina 60×40 %). — Tätten joudutaan itse

asiassa stereo-valokuvaukseen, ja saaduilla ilmakuvilla on kaikki stereo-kuvien erinomaiset käyttömahdollisuudet. Täysin tarkan kartan piirtäminen samoin kuin korkeuskäyrien vetäminenkin on mahdollista vain stereokuvapareista.



Kuva 3. Yksityiset pystykuvat koottuina kuvarekisteriksi; kuvasta näkyy pitkittäis- ja poikkittäispeitos. K. Löfstromin mukaan.

Liittämällä samaan mittakaavaan oikaistuja pystykuvia mosaiikkimaisesti toisiinsa voidaan jostain pystysuoraan valokuvatusta alueesta koota sen ilmakuvakartta (saks. Bildplan). — Tavallisesti tämä kokoaminen tapahtuu siten, että alumiinilevyille liimataan ensin paperi, jolle maastossa mitatut kiintopisteet kartoitetaan, minkä jälkeen eri kuvat kiinnitetään näiden pisteiden perusteella. — Sopivan, kutistumattoman tai edes tasaisesti kutistuvan kopiopaperin hankkiminen on yleensä tuottanut suuria vaikeuksia, ja epätasaisesta kutistumisesta johtuneet virheellisydet ovat ilmakuvakartoissa olleet melkoisen suuria. Esim. A g f a G. m. b. H. ilmoittaa kuitenkin nykyisin valmistavansa jo täysin tyydyttävää valokuvauspapereita.

—Pysty kuvan mittakaava riippuu lentokorkeudesta ja kameran polttovälistä seuraavassa yksinkertaisessa suhteessa:

$$m = f : k,$$

jossa m = kuvan mittakaava, f = kameran polttoväli ja k = lentokorkeus. Siis sanoin: kuvan mittakaava saadaan jakamalla kameran polttoväli lentokorkeudella. Jos käytetään samaa kameraa, on mittakaava kääntäen verrannollinen lentokorkeuteen. Yksityisen ilmakuvan kuva-ala sen sijaan on suoraan verrannollinen lentokorkeuden neliöön, ja siis kustannukset joltain aluetta valokuvattaessa yleensä kääntäen verrannolliset lentokorkeuden neliöön. Niinpä valokuvaus mittakaavaan 1 : 10'000 tulee noin neljä kertaa niin kalliiksi kuin mittakaavaan 1 : 20'000.

Pystykuvien mittakaava vaihtelee tavallisesti 1 : 3'000–1:30'000. Ylärajan rajoittaa lähinnä matalalla lennettäessä yhä pienenevä valotusaika ¹⁾, alarajan kuvattavan alueen valovoiman heikkeneminen ²⁾ ja valohunnon ³⁾ (saks. Lichtschleier) muodostuminen. Niin suurella kuin pienelläkin mittakaavalla on etunsa ja haittansa. Jos kuvan mittakaava on suuri, niin sen kuva-ala jää suhteellisen pieneksi, mutta yksityiskohdat esiintyvät selvinä — pienmittakaavaisessa kuvassa päinvastoin.

Pystykuvan mittakaava valitaan luonnollisesti valokuvauksen tarkoituksen mukaan. Metsätaloutta silmällä pitäen on sopivin mittakaava noin 1 : 6'000—1 : 10'000; pienemmässä mittakaavassa käyvät yksityiset puut epäselviksi, suurempi ei sisällä oleellisia lisäpiirteitä. — Esim. jo mittakaavassa 1 : 20'000 esiintyy metsä miltei yhtenäisenä tummana massana, jossa mm. metsikkörajojen vetäminen käy verraten vaikeaksi. Saksassa on metsätaloutta silmällä pitäen suoritettujen ilmavalokuvausten (pysty- ja stereo-valokuvausten) yhteydessä suoritettu tutkimuksia myös sopivimman valokuvausmittakaavan määräämiseksi. Niinpä valokuvattiin Bärenthorenin hoitoalue v. 1924 3'000 metrin korkeudesta mittakaavaan 1 : 17'000, 1 250 metrin korkeudesta mittakaavaan 1 : 6'700 ja 600 metrin korkeudesta mittakaavaan 1 : 3'400. Saavu-

¹⁾ Mitä matalammalta valokuvaus tapahtuu, sitä nopeammin liikkuu maiseman kuva valokuvauskoneessa, ja sitä pienempää valotusaikaa on tarkan valokuvan saamiseksi käytettävä.

²⁾ Maiseman valovoima on kääntäen verrannollinen lentokorkeuden neliöön.

³⁾ Valohuntu syntyy ilmassa olevien epäpuhtauksien, kuten noen ja savun, sekä sen sisältämän vesihöyryn valoa (etupäässä lyhytaaltoisia valonsäteitä, sinistä ja ultraviolettia) heijastavasta vaikutuksesta.

tettujen tulosten perusteella pitää Krutzsch (1925) mittakaavaa 1 : 17'000 liian pienenä, mittakaavaan 1 : 6'700 hän on niin kartoitusteknisessä kuin taksatoorisessakin mielessä varsin tyytyväinen, ja suurempi mittakaava onkin hänen mielestään tarpeeton. — Weisser Hirsch-niminen hoitoalue Saksissa valokuvattiin 2'380:n, 1 890:n, 1 480:n ja 1040 metrin korkeudesta — vastaavat mittakaavat olivat: 1 : 13'000, 1 : 10'000, 1 : 8'500 ja 1 : 5'500. Tuloksista mainitsee Jacobs (1932), että yli 2'500 metrin korkeudesta otettuja kuvia haittasi valohuntu, tavalliseen kartoitustarkoitukseen mittakaava 1 : 10'000 oli soveliaain ja erityisesti taksatooriisiin tehtäviin mittakaava 1 : 8'000 paras; »Unter 1 450 m verliert man Fläche in den Aufnahmen, ohne weitere wertvolle Einzelheiten zu bekommen.» Myös Rebel (1924) pitää mittakaavaa 1 : 8'000 metsittymis- ja talousmuodoiltaan kirjavissa metsäseuduissa parhaimpana.

Meikäläiseen kunnan metsäkartaan verrattuna ei vastaava ilmakuvakartta (sama mittakaava) sisällä merkittäviä lisäpiirteitä. Jo tiluslajien määrittely tuottaa erinäisissä tapauksissa (kangasräme, kangaskorpi, suo, niitty, nummi) vaikeuksia puhumattakaan metsätyypeistä. Metsikkörajojen vetäminen on tosin joissakin tapauksissa (eri puulaji- ja tiheyssuhteet) helpompaa ja objektiivisempaa kuin maastossa, mutta toisinaan taas epävarmempaakin (pienehköt pituus- ja ikäerot, erot metsänhoidollisissa tilassa, metsän laadussa ym.)

Suurin osa Euroopassa tähän mennessä suoritettuun ilmakuvakartoituksesta perustuu pystykuviin. — Erityisesti metsätaloudellisiin tarkoituksiin, metsätalouden järjestelyä silmällä pitäen, on pystyvalokuvausta suoritettu varsinkin Baierissa. Rebel (1926) mainitsee, että vuoteen 1926 mennessä Baierissa oli valokuvattu kaikkiaan 52'000 ha metsämaata. Rebel itse puolustaa innokkaasti pystyvalokuvausta Krutzschia vastaan käymässään polemiikissa (Rebel 1926, Krutzsch 1926), mutta myöhemmin näyttää pystyvalokuvaus Baierissa kuitenkin jääneen taka-alalle — ilmeisesti sen antamien ilmakuvakarttojen ylimalkaisuuden vuoksi: »Unter diesem Gesichtspunkt scheidet das Entzerrungsverfahren für Sachsen von vornherein aus; dass dieses Verfahren für Sachsen einen Rückschritt bedeuten würde, habe ich schon wiederholt betont. Einzig und allein von der Luftbildmessung¹⁾ ist in zivilisierten Ländern mit intensiver Forstwirtschaft ein Fortschritt zu erwarten,» lausuu Krutzsch (1926). Samantapainen on tanskalaisen Hansenin (1935) arvostelu ilmakuva-

¹⁾ Krutzsch tarkoittaa nimityksellä Luftbildmessung stereo-kuviin perustuvaa, automaattista ilmakuvien tulkintaa (vrt. järempänä).

kartoista metsätaloutta silmällä pitäen: »Derimod tror jag ikke, at Fremstilling af Luftbillekort, dvs. Kort lavet af Enkeltbilleder efter Omprojektion ved Hjaelp af en Opretter til ensartit Maalestok, vil have nogen større Betydning for Skoovbruket i Danmark».

Metsikkökarttanakin Krutzsch (1924) hylkää pysty kuvista kootun ilmakuva kartan: »Aber auch für diesen Zweck hat sich die Bildkarte als weit weniger geeignet erwiesen als die sächsische Bestandeskarte, aus der ohne weiteres eine ganze Anzahl sehr wichtigen Daten, wie Holzart, Bestandesalter nach 10 jährigen Abstufungen, Bonität, Art des Nichtholzbodens, Charakter der Wege usw. ersehen können, welche auf einer Bildkarte höchstens durch Übermalen oder Einzeichnen besonderer Signaturen, die Deutlichkeit beeinträchtigen würden, dargestellt werden könnten.» Pitääpä hän sitä metsikköhistoriallisena asiakirjanakin alkuperäisistä ilmakuvista koottua stereokartoteekkaa (vrt. s. 17) vähempiarvoisena.

Tuollainen ilmakuva kartta esim. koko hoitoalueesta on kyllä mielenkiintoinen taulu hoitoalueen kanslian seinällä, mutta sen välitön metsätaloudellinen merkitys ei sittenkään ole varsin suuri; yksityiskohdat eivät siinä yleensä eroittaudu selvinä (mittakaava pienempi kuin 1:10'000), ja yleiskatsauksellisuuskin sekä erityisesti täsmällisyys on pienempi kuin tavanomaisissa talouskartoissa. Ilmakuva kartan maaston korkeussuhteistakin antama kuva on varsin epämääräinen. Ilmakuva kartoilla on kuitenkin välillisesti suuri merkitys metsätaloudelle; niiden avulla voidaan piirtää tai tarkistaa erityisesti kartaston pääpiirteet — yksityiskohdat tutkitaan parhaiten alkuperäisten, oikaisemattomien kuvien (kontaktikopioiden) avulla. Oikaisussa ilmakuva karttojen terävyys näet vähenee, eikä ilmakuva kartta sen vuoksi ole yhtä teräväpiirteinen kuin oikaisematot kopiot. Alkuperäiset kopiot voidaan lisäksi useimmissa tapauksissa parittain yhdistää stereo-kuviksi, mikä helpottaa suuresti yksityiskohtien tulkintaa ja antaa kuvan maaston korkeussuhteistakin.

Myös naapurimaassamme Ruotsissa on pystyvalokuvausta käytetty, toistaiseksi lähinnä kokeilun luontoisena, vv. 1921—36 kartoitustöissä Göteborgin ja Bohusin läänissä (1:12'000) sekä vuosina 1933—34 Gottlannin saarella. Kokeilut ovat johtuneet siihen, että siellä nyt on esitetty laajasuuntainen ohjelma maan kartaston uudistamiseksi pystyvalokuvausta käyttäen (Betänkande med utredning och förslag rörande rikets ekonomiska kartläggning och därmed sammanhängande organisations-

spörsmål angående rikets landkartverk, 1936). Siinä ehdotetaan, että taloudellinen kartta (ekonomisk karta) julkaistaisiin joko paljaana ilmakuva karttana (maan ekstensiivisimmässä osissa) tai ilmakuva karttana, jolle on tärkeimmät tiluslajit rajoitettu ja väritetty. Ehdotuksen laatijoiden mukaan olisi mm. metsätaloudelle tällaisista kartoista huomattavaa hyötyä. — Aate ei suinkaan ole uusi. Sitä on kokeiltu mm. Baijerissa juuri metsätalouskartoissa, mutta lopulta on kuitenkin päädytty takaisin vanhoihin talouskarttoihin. Tällaisista »taloudellistopografisista» kartoista mainitsee esim. Rief (1936): »Dieselbe hat sich aber wenig bewährt, die klare Übersicht ging durch das viele Beiwerk verloren und das Karten-Lesen wurde erschwert», — myös pelkkä ilmakuva kartta ei riitä metsätalouden tarpeisiin: »Und so werden in der Bayer. Staatsforstverw. die Wirtschaftskarten heute wieder nach dem alten Verfahren gefertigt und die Flugzeugforsteirichtung ist selten geworden.»

Suomessakin ilmakuvauskartoitus on rajoittunut pysty kuvien oikaisumenetelmään. Meillä on sitä vuodesta 1927 lähtien kehitetty kenraali V. Nenosen johdolla puolustusministeriön topografikunnassa. V. 1936 alettiin myös maanmittaushallituksen geodeettisessa osastossa kokeilla puolustuslaitoksessa kehitetyillä menetelmillä, ja nyttemmin on sen yhteyteen perustettu erityinen ilmakuvausosasto, jonka laskuun puolustuslaitos valokuvaa aivan samalla tapaa kuin omiakin tarpeitaan varten. Kuvien oikaisu tapahtuu niihin varsinaisen maastokuvan kera samanaikaisesti kahdessa toisiaan vastaan kohtisuorassa suunnassa valokuvatun horisonttiviivan sekä rasiavesivaa'an kuvan avulla; lentokorkeus voidaan tohtori V. Väisälän statoskoopin avulla pitää miltei metrillään muuttumattomana; se on siis kaikissa kuvissa sama. Itse oikaisussa pidetään kuvat koko työskentelyn ajan glyseriinin avulla kosteina; täten vältytään kutistumisvirheellisyyksistä. Oikaisu muodostuu suomalaisessa menetelmässä nopeaksi, ja maastossa mitattavien kiintopisteiden lukumäärää voidaan suuresti supistaa.

Valokuvaus tapahtuu Zeissin erityistilauksesta valmistamalla ns. Nenon-sarjavalokuvauskoneella (kuvakoko 18 × 18 cm, pääobjektiivi $f = 16.5$ cm, valovoima $f/4.5$, sekä kolme apuobjektiivia — vrt. Löfström 1932) noin 3'300 metrin korkeudelta mittakaavaan 1:20'000 käyttäen 60 × 40 % peitosta. Jotta horisontti tulisi kuvissa selvästi näkyviin, tapahtuu valokuvaus pankromaattiselle filmille voimakasta punaista suodatinta käyttäen.

— Verraten tasaisessa maastossa ja varsinkin jos korkeussuhteiden (korkeuskäyrien) esittä-

mistä ei pidetä tarpeellisena, pystykuviin perustuva oikaisumenetelmä johtaa tyydyttäviin kartoitustuloksiin. — Kuten edellisestä selviää, otetaan pystykuvatkin tavallisesti melkoista, aina 60×40 %:n peitosta käyttäen. Nämä alkuperäiset ilmakuvat, parittain stereokuvapareiksi yhdistettyinä omaavat kaikki stereokuvien erinomaiset metsätaloudelliset käyttömahdollisuudet. Kustannuksiltaanakaan ei stereo-valokuvaus muodostu niin paljon yksinkertaista valokuvausta kalliimmaksi, että kannattaisi luopua sen tarjoamista monipuolisista eduista; pääasiassa kustannukset lisääntyvät vain runsaamman valokuvausmateriaalin hinnalla. Suotavaa vain olisi, että ne mittakaavan ja valokuvaustapansa puolesta vastaisivat mahdollisimman paljon metsätalouden vaatimuksia.

Stereo-kuvat.

Stereo-kuviin, kaksoiskuviin (saks. Doppelaufnahme), perustuu ilmakuvamittaus, joka johtaa teoreettisesti oikeisiin tuloksiin epätasaisessakin maastossa, ja jonka avulla voidaan samalla esittää maaston korkeussuhteet esim. piirtämällä sen korkeuskäyrät.

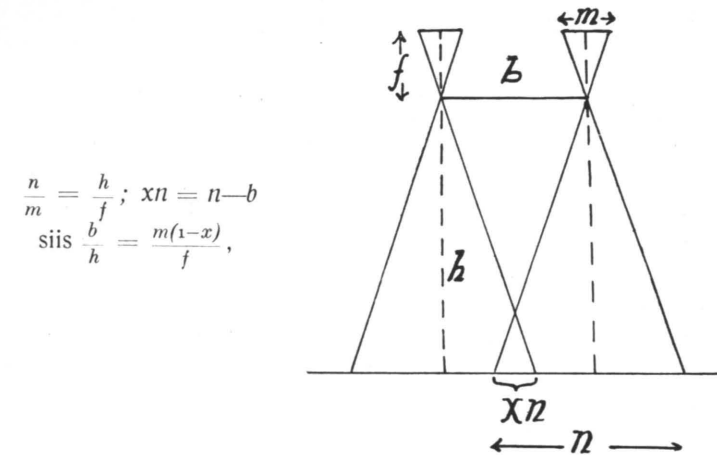
Stereo-kuvat otetaan tavallisesti automaattisesti toimivalla sarjavalokuvauskoneella (saks. Reihenbildner) siten, että edellinen aina peittää noin 60—70 % jälkimmäisestä. Kuvia tarkastetaan sitten parittain stereoskoopilla¹, jolloin saadaan kaikki kolme ulottuvaisuutta esiin.

Stereo-kuvat otetaan tavallisesti pystysuoraan alaspäin (poikkeuksena monikertakamerat); stereo-kuvien mittakaavan suhteen pitää niin ollen paikkansa edellä pystykuvista sanottu. Metsätaloudellisiin tarkoituksiin on niissäkin mittakaava 1:6'000—1:10'000 tarkoituksen mukaisin.

Jotta puut näkyisivät kokonaisuudessaan ja maa mahdollisimman laajalti niiden välistä, tulisi kannan (saks. Basis), so. kahden peräkkäisen kuvan ottokohtien etäisyyden, olla lentokorkeuteen verrattuna suhteellisen pieni, mieluummin 1/15—1/20 lentokorkeudesta (Weissker 1927).

¹ Hieman harjoittelua ja stereo-kuvien avaruusvaikutus näkyy ilman stereoskooppiakin. Aluksi on harjoiteltaessa hyvä pitää esim. pahvilevyä kuvien välissä; kummankin kuvan pitää olla tasaisesti valaistu.

— Toisaalta kannan pienentyessä korkeusmittaus stereo-kuvista käy epävarmemmaksi. Tämä on ymmärrettävissä mm. siitä, että kannan pituus vaikuttaa ilmakuvamittauksessa samoin korkeusmittauksen tarkkuuteen kuin esim. terrestrisessä »eteenpäinleikkauksessa» molempien kantapisteiden etäisyys uusien mitattujen pisteiden aseman tarkkuuteen. Kuvakoon ja kameran polttovälin pysyessä muuttumattomina määrää haluttu kuvien peitos kannan suhteen lentokorkeuteen ja päinvastoin. Tämä selviää oheisesta piirroksesta.



$$\frac{n}{m} = \frac{h}{f}; \quad xn = n - b$$

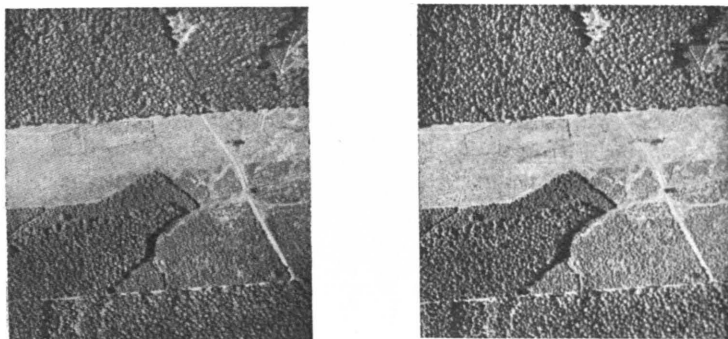
siis $\frac{b}{h} = \frac{m(1-x)}{f}$,

b = kanta, h = lentokorkeus, m = kuvan pituus, n = vastaava maastoväli, x = pitkittäispeitosprosentti, f = kameran polttoväli.

Jos kannan suhde lentokorkeuteen pienenee, niin peitos siis kasvaa; taloudellisista syistä ei peitosta juuri valita 70×40 % suuremmaksi, mikä merkitsee kannan ja lentokorkeuden suhteen jäämistä ($f = 21$ cm, kuvakoko 18×18 cm) noin 1/3:ksi siis metsätaloutta silmällä pitäen suhteellisen suureksi!

Muiden teknillisten tekijäin riippuvaisuutta toisistaan kuvaa seuraava metsätaloudelliseenkin ilmavalokuvaukseen soveltuva esimerkki:

Jos sarjavalokuvauskoneen polttoväli on 140 mm ja sen kuvakoko 13×18 cm, niin jotta kuva syntyisi mittakaavaan 1:10'000, tulee lentokorkeuden olla noin 1'400 m. Jos pitkittäispeitokseksi valitaan esim. 60 %, tulee kannan olla 634 m, ja jos poikittäispeitos on 20 % (lentolinjat noin 1040 metrin etäisyydellä toisistaan), niin tehokas kuva-ala levyä kohti on noin 60 ha.



Kuva 4. Stereo-kuvapari saksalaisesta metsämaisemasta; eri-ikäisiä metsiköitä. Tarkastettava mieluummin stereoskoopilla (esim. taskustereoskoopilla, vrt. s. 37). Metsikkörajat näkyvät jokseenkin selvinä. Mittakaava noin 1:10'000.

Stereo-kuvapari (kuva 4) on stereoskoopilla tarkastatettuna verrattomasti selvempi kuin yksityinen pystykuva. Varsinkin epätasainen maasto ja metsämaisemat avautuvat aivan toisenlaisina, luonnonmukaisena avaruuskuvana, tarkastelijan eteen. Tämä avaruusvaikutus näkyy ilmasta otetuissa kuvissa niiden ottopaikkojen pitkän välimatkan vuoksi erinomaisen selvänä, monin kerroin liioiteltuna ja paljon pitemmälle kuin luonnossa paljain silmin; puut näkyvät luonnottoman pitkinä ja hoikkina, mäet korkeina vuorina, talot tornimaisina jne. — »Das Stereoskop ist die unbedingt notwendige Ergänzung des Flugbildes!» (Rebel 1924).

Stereo-kuvia tarkasteltaessa on aina muistettava, että ilmavalokuvaus rajoittuu täysin kirkkaisiin päiviin. Niinpä onkin stereokuville ominaista, että maa niissä on kirkaasti valaistu ja yleensä kuivana — varjot ovat miltei mustia. Stereo-kuvassa (esim. mittakaavassa 1:8'000) eivät esineet sotkeudu omiin varjoihinsa, vaan tulevat juuri niiden ansiosta usein esiin ja erityisen selviksi. Esim. eri puulajien latvusmuodoilla on kullekin luonteenomaiset varjonsa. Usein voidaan varjon pituudesta arvostella esineen korkeuskin. Puiden latvukset erottautuvat toisistaan, niiden muoto käy selväksi ja vähäisetkin korkeuserot huomattaviksi. Käypä puiden pituuden mittaaminenkin jo verraten yksinkertaisilla välineillä (stereometri, stereokomparaattori) mahdolliseksi. — Metsäkuvan täten kirkastuessa metsikkörajat (lähinnä erilaisten puulaji-, tiheys- ja pituussuhteiden aiheuttamat) tulevat erin-

omaisen selviksi; niiden vetäminen käy varmaksi ja objektiivisemmäksi kuin maastossa. Kun metsiköt ympäristöineen näkyvät yhtä aikaa kokonaisuudessaan, on verraten helppoa vetää raja vähittäisestikin toisiinsa vaihettuvien metsiköiden välille, mikä maastossa on erityisen vaikeata. — Vesistöjen, soiden, peltojen jms. rajat, tiet, polut, metsään hakatut linjat, rakennukset jne. näkyvät yksityiskohtiaan myöten. Vesistöt näkyvät yleensä hyvin tummina; kirkasvetisissä järvissä pohja kuultaa kuitenkin usein noin parin metrin syvyydelle rannoilla veden lävitse — ilmakuva voi siis täten antaa jonkinlaisen kuvan rantojen syvyyssuhteistakin. Jos vesi on mutaista, näkyy se yleensä vaaleampana. — Kosteaa maakin erottautuu usein tummemman värinsä johdosta kuivasta. On kuitenkin huomattava, että jo tiluslajien määrittely voi tuottaa vaikeuksia (esim. kangaskorpi, kangasräme, neva, niitty, nummi), ja metsätyypit jäävät kerrassaan epävarmoiksi.

Karttaan verrattuna ilmakuvalla on se etu, ettei ole pelkoa minkään yksityisseikan poisjämisestä. Ilmakuva on objektiivinen, kartta sen sijaan aina jossain määrin subjektiivinen, kartoittajan »käsiälaa». On kuitenkin huomattava, että ilmakuvankin tulkinta on jossain määrin subjektiivista.

Stereo-kuvaparit ovat verrattomaksi avuksi useiden teknillisten tehtävien ratkaisussa, kuten tieverkoston tai sen täydennystä suunniteltaessa, lauttausväyliä kunnostettaessa, ojitussuunnitelmia laadittaessa, leimauksia, ajopalstoja, ajoteitä ja varastopaikkoja sijoitettaessa jne., niiden avulla voi metsänarvostelija suunnitella työnsä tehokkaimmaksi ja tuloksiltaan pätevimmäksi, ja ne helpottavat sopivien koalapaikkojen löytämistä niin taksatoorisissa töissä kuin tieteellisissä tutkimuksissakin.

— Täten stereo-kuvaparit (laajahkolta alueelta niiden yhdistelmä, stereo-kuvasto eli stereokartoteekki)¹ muodostavat kartaston ja metsänarvokirjojen arvokkaan täydennyksen.

Varsinainen kartoitus stereo-kuvista tapahtuu parhaiten automaattisesti toimivilla kartoituskoneilla, esim. stereoplani-

¹ Tällainen stereo-kuvasto järjestetään parhaiten korttijärjestelmän tapaan indeksinä kysymyksessä olevan alueen kartta, johon stereo-kuvien kuva-alat on merkitty ja numeroitu. Stereo-kuvat kiinnitetään sopivimmin kolmittain jäykälle kartongille.

grafilla; lähinnä pienehköjä kartaston täydennystöitä silmälläpitäen on laadittu yksinkertaisempia kojeita (esim. kokoontaitettava peilistereoskooppi piirustusstereometreineen).

Stereoplanigrafilla käy kartan piirtäminen stereo-kuvaparista mukavasti ja nopeasti (vrt. ss. 33—35). Stereoplanigrafi ei edellytä pystyvalokuvausta; alkuperäiset negatiivit tai niistä otetut diapositiivit soveltuvat niin ollen sinänsä, oikaisemattomina, siihen. Valokuvatun maaston ei tarvitse olla tasainen, vaan sen korkeussuhteita esittävät korkeuskäyrätkin voidaan vetää nopeasti ja verraten tarkasti. — Stereoplanigrafi soveltuu erityisesti sarjavalokuvauskoneella otettujen pystykuvasarjojen (normaalirivien, saks. Normalreihen) tulkintaan; kunhan sarjan ensimmäinen kuvapari on kiintopisteiden avulla oikein orientoitu, voidaan siihen pelkän stereovaikutuksen säilymisen perusteella liittää muutama kokonaan kiintopisteetön kuvapari (»ilmakolmiointi», saks. Aerotriangulation) — sarjan viimeinen kuvapari sitten taas tarkistetaan kiintopisteiden avulla. Täten voidaan supistaa maastosta mitattavien kiintopisteiden lukumäärää.

Esimerkkinä stereoplanigrafian suorituskyvystä pystykuvien tulkinassa esitettäköön Saksassa Reichsamtfür Landesaufnahmenv. 1928 suorittama koe (Hugershoff 1930):

Valokuvaus suoritettiin sarjavalokuvauskoneella ($f = 180$ mm) filmille, lentokorkeus oli 900—1000 metriin ja kannan suhde lentokorkeuteen noin 1/3.

	Keskim.asemavirhe \pm m.	Keskim.korkeusvirhe \pm m.
Eksaktisesti määrätty maastopiste	0.56	0.16
Korkeuskäyrät (keskim. maaston kaltevuus 22.5°)		0.44

— Tutkimus osoitti, että korkeuskäyrien keskimääräinen virhe oli mittapöytäkartoituksessa noin $\pm (0.30 + 0.40 \operatorname{tg} \alpha)$ m ja ilmakuvakartoituksessa noin $\pm (0.43 + 0.44 \operatorname{tg} \alpha)$ m, jossa $\alpha =$ maaston kaltevuuskulma.

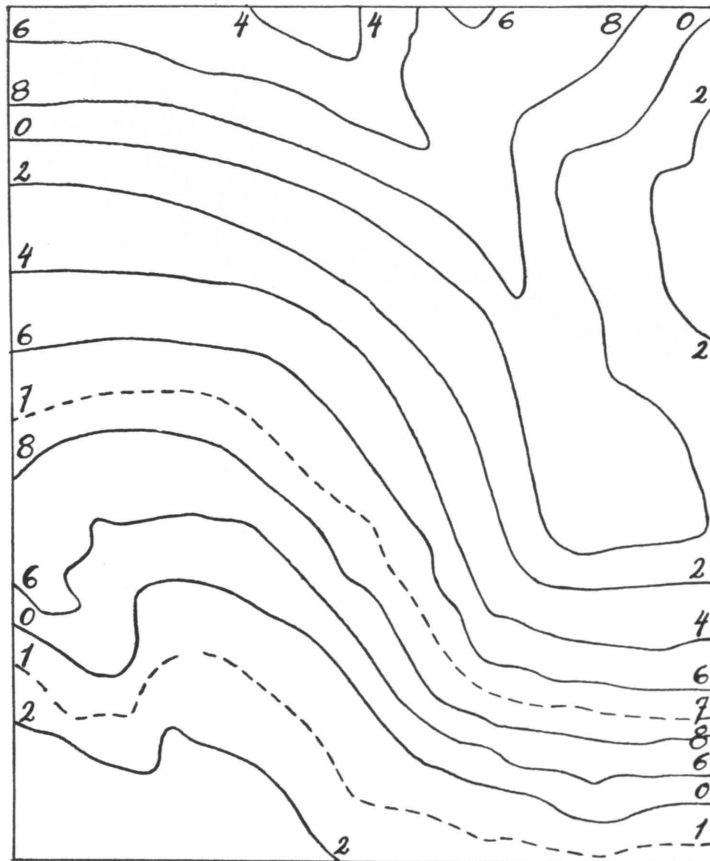
Kuva 5 esittää tekijän stereoplanigrafilla stereo-kuvaparista piirtämää karttaa. Piirtäminen käy tottuneelta työskentelijältä suunnilleen yhtä nopeasti ja varmasti kuin esim. kartan suurentaminen planigrafilla. — Täten piirretty kartta sisältää epäilemättä kaikki huomionarvoiset kartoitusalan yksityiskohdat, eikä tarkkuuskaan jätä toivomisen varaa.

Edellä on jo mainittu, mitkä kartoittajalle oleelliset maiseman piirteet näkyvät stereo-kuvista ja mitkä eivät. Kun metsäilmakuvissa näkyy yhdellä silmäyksellä kokonaisuudessaan



Kuva 5. Stereoplanigrafilla piirretty metsä- ja viljelysalueen kartta (Saksa, Saksi); piirretty 18×18 cm:n suuruisista stereo-kuvista (niille ei myönnetty maastavientilupaa), jotka on valokuvattu sarjavalokuvauskoneella ($f = 210$ mm) noin $1'600$ metrin korkeudesta mittakaavaan $1 : 7'500$. Kartan mittakaava on $1 : 10'000$ ja sen kuva-ala on noin 23 ha. Kartan piirtämiseen kului tekijältä 3 tuntia; tottunut piirtäjä suorittaisi sen noin 1 tunnissa. — Piirtämisen tarkkuus ilmenee mm. kahdella viivalla merkityistä teistä, joiden kumpikin reuna on piirretty toisistaan riippumatta.

ja kuitenkin samalla kaikkine yksityiskohtineen, on kartoittajan helpompi kuin maastossa arvoitella, mitkä piirteet ovat todella oleellisia ja kartoittamisen arvoisia. — Stereo-kuvista automaattisesti piirretty kartta on epäilemättä objektiivisempi ja monessa suhteessa täydell-



Kuva 6. Kuvassa 5 esitettyyn karttaan kuuluvat korkeuskäyrät, jotka selvyiden vuoksi on piirretty erikseen. Korkeuskäyrät on piirretty 2 metrin korkeuseroin. Jonkinlaisena tarkistuksena niille on piirretty muista riippumatta kaksi korkeuskäyrää 1 metrin korkeuseroin viereisistä; kuten kuvasta näkyy, asettuvat ne kauniisti niiden väliin.

sempikin kuin terrestrinen ja varsin tarkka pienimpiä yksityiskohtiaan myöten.

Erityisen arvon antaa stereo-kuvista piirretyille kartoille se, että niihin on helppo vetää mekaanisesti korkeuskäyrät noin 0.5 metrin tarkkuudella. Korkeuskäyrien piirtäminen edellyttää, että maa on näkyvissä; esim. Keski-Euroopan tiheistä metsistä otetuissa ilmakuviissa ei tämä ehto yleensä ole täytetty. Meillä metsät ovat kuitenkin

kin usein siksi harvoja, varsinkin Pohjois-Suomessa, että maa on korkeuskäyrien piirtämiseen kylliksi näkyvissä. Erityisen helppoa on käyrien vetäminen aukeiden alueiden, peltojen, niittyjen ja soiden yli. Epäsuotuisimmassakin tapauksessa, taajassa metsässä, löytyy kuitenkin runsaasti yksityisiä kohtia, joissa maa näkyy. Määräämällä niiden korkeus («punnitsemalla» ne) voidaan korkeuskäyrät sitten interpoloida niiden väliin aivan kuin terrestrisessä vaakituksessa.

Vaikka stereo-kuvista ei yleensä olekaan mahdollista saada yhtä pieniä maaston korkeuseroja esille kuin terrestrisesti — ei yleensä alle 0.5 metrin, niin niiden mukaan piirretyt korkeuskäyrät noudattavat tarkemmin luontoa (H u g e r s h o f f 1933); ne ovat «luonnollisia» korkeuskäyriä. Niitä ei näet yleensä interpoloida mekaanisesti määrättyjen, «punnittujen» maastopisteiden välille kuten terrestrisissä menetelmissä, vaan piirretään ne jatkuvina käyrinä (vrt. s. 35). — Kokemus osoittaa, että stereokuvien mukaan piirretyt korkeuskäyrät sisältävät huomattavasti runsaammin pikku mutkia kuin vastaavat terrestriset. Terrestrisessä vaakituksessa mitataan tosin määrättyjen maastopisteiden korkeus suhteellisen tarkasti, esim. meikäläisissä ojitussuunnitelmatöissä yleensä 1 cm:n tarkkuudella, mutta niiden mukaan interpoloidut korkeuskäyrät eivät täytä samaa tarkkuutta. Niissäkin lienee keskimääräinen virhe noin ± 30 cm.

— Mitä laakeampi maasto on, sitä vaikeammaksi muodostuu korkeuskäyrien vetäminen stereoplanigrafilla. Maaston kaltevuuden laskiessa alle 1/20 ei korkeuskäyriä enää voi vetää yhtenäisesti, vaan niiden asema on määrättävä kohta kohdalta kahden sellaisen kohdan väliin, joista toisessa stereoplanigrafian osoitinpiste on selvästi maanpinnan alapuolella ja toisessa sen yläpuolella. Kannan ja lentokorkeuden suhteen suurentaminen helpottaa korkeuskäyrien vetämistä; maaston korkeussuhteet esiintyvät näet silloin yhä enemmän liioiteltuina.

Stereo-valokuvaus ja stereo-kuvien tulkinta muodostuu muihin ilmavalokuvaukseen perustuviin kartoitusmenetelmiin verrattuna suhteellisen kalliiksi, minkä vuoksi sitä tarkkuudestaan ja monipuolisuudestaan huolimatta toistaiseksi on käytetty verraten pienillä alueilla. Nykyään sillä kuitenkin on yhä kasvava merkitys oikaisumenetelmien rinnalla. Erityisesti metsätaloutta silmällä pitäen on Saksassa stereo-valokuvattu Bärenthorenin hoitoalue (n. 3'000 ha), Weisser Hirsch-niminen hoitoalue Saksissa (n. 2'000 ha) ja osia Tharandtin hoitoalueesta. — Reichsamt für Landesaufnahme käyttää yhä enemmän stereo-valokuvausta pystyvalokuvauksen kera kartoitustöissään. Useissa

muissakin Euroopan maissa (esim. Espanjassa, Hollannissa, Italiassa, Puolassa, Ranskassa, USSR:ssä, Sveitsissä ja Unkarissa) on stereo-valokuvausta käytetty kartoitustöissä, etupäässä suhteellisen epätasaisen maaston kartoittamiseen. Myös Yhdysvalloissa on stereo-valokuvausta ruvettu käyttämään vallitsevien varsin ekstensiivisten valokuvausmenetelmien rinnalla.

Suomessa ei stereo-kuviin perustuvaa kartoitusta ole käytetty; meillä ei toistaiseksi ole stereo-kuvien automaattisia tulkintakojeitakaan. — Verraten tasaisessa maastossamme pystykuvien oikaisumenetelmä johtaakin kartoitusteknillisesti tyydyttäviin tuloksiin ja on erityisesti meikäläisessä muodossaan verrattomasti stereo-valokuvaukseen perustuvaa ilmakuvamittausta halvempi.

Ilmavalokuvaukseen perustuva metsänarvioiminen.

Ilmavalokuvaukseen perustuva metsänarvioiminen on varsinkin Keski-Euroopassa saanut osakseen runsaasti huomiota. (Hilf 1923, H u g e r s h o f f 1933a ja 1933b, K r u t z s c h 1925, R e b e l 1924, R i e f 1936, W e i s s k e r 1927, Z i e g e r 1929). Onpa meilläkin tehty alustavia tutkimuksia sen mahdollisuuksista (F a b r i t i u s 1922, A r o 1934, K y t ö n e n ja T u u r a 1937).

Yllä mainittujen saksalaisten tutkimusten suhteen on huomattava, että meikäläinen käytännöllinen metsänarvioiminen poikkeaa melkoisesti saksalaisesta. Tämä johtunee lähinnä metsien erilaisuudesta. Saksassa käytännöllisesti katsoen kaikki metsät ovat viljelysmetsiä — pääasiassa paljaasihakkausaloille istutettuja; tasaikäiset, tasatiheät, puhtaat, säännöllisesti harvennetut metsikkömuodot vallitsevat, ja raja eri metsiköiden välillä on yleensä jyrkkä. Alimetsiä ja luontaista taimistoa ei esiinny kuin poikkeustapauksissa. Metsien kaavamaisesta käsittelystä johtuu, että eri metsiköiden metsänhoidollisessa tilassa ei tavallisesti ole oleellisia erilaisuuksia. Metsämaaperäkin on usein laajoilla alueilla yhtenäinen, eivätkä sen luonnolliset rajat ole bonitoimistavan mekaanisuuden¹⁾ vuoksi saaneet ensiarvoista merkitystä. — Kaikesta tästä johtuu, että käytännöllisessä metsänarvioimisessa pannaan pääpaino metsien matemaattisille kuutiotekijöille (puulajisuhteet, runkoluku, keskiläpimitta ja keskipituus).

¹⁾ Saksassa metsämaan bonitoiminen tapahtuu yleensä metsän keskipituuden perusteella.

Meikäläiset metsät ovat sen sijaan vielä lähellä luonnonmetsiä, ja niiden rakenne on mitä moninaisinkin. Aivan puhtaat ja tasaikäiset metsiköt ovat kulojen ja kaskeamisen vähentyessä käyneet yhä harvinaisemmiksi. Luontaisen taimettumisen epäsäännöllisyydestä ja suoritetuista hakkuista johtuu metsikköjemme epätasaisuus niin vaaka- kuin pystysuunnassakin. Lisäksi niiden metsänhoidollinen tila on mitä vaihtelevin. Meillä vakiintuneen metsien pintakasvillisuuteen perustuvan metsämaiden luokittelun ansiosta on todellisilla luonnossa esiintyvillä eri kasvupaikkalaatujen rajoilla perustava merkitys metsätaloudessamme. — Niinpä meikäläinen metsänarvioiminen, vastakohtana saksalaisen metsänarvioimisen mekaanisuudelle, korostaakin enemmän biologisia näkökohtia; metsänarvostelijan tulee todeta kunkin metsikön todellinen metsänhoidollinen tila ja esittää ne toimenpiteet, mitkä ovat tarpeen nykytilan saattamiseksi kohti kysymyksessä olevaa kasvupaikkaa vastaavaa ihannetilaa (L ö n r o t h 1927).

Tästä erilaisuudesta saksalaisen ja meikäläisen käytännöllisen metsänarvioimisen välillä johtuu, että meidän on arvostettava ilmavalokuvauksen merkitystä metsänarvioimiselle aivan omasta näkökulmastamme.

— Meikäläinen metsänarvostelija määrittelee kullakin talouskuviolla tiluslajin ja metsätyyppin, mainitsee »maan» nimen ja arvioi metsiköittäin metsän tiheyden, puulajisuhteet, valtapituuden, iän ja kuutiomäärän hehtaaria kohti — kaikki erikseen kullekin mahdollisesti esiintyvistä puuston jaksoista (ylimetsä, vallitseva metsä ja alimetsä). Lisäksi hän suunnittelee metsikön hoito- ja käyttötoimenpiteet seuraavaksi 10-vuotiskaudeksi ja arvioi ehdottamissaan hakkuissa kertyvän hakkausmäärän hehtaaria kohti. Vieläpä hän lyhyesti arvostelee aikaisemmin suoritettujen hakkuitten onnistuneisuuttakin. — Seuraavassa tarkastellaan, missä määrin kukin näistä arvioimistehtävistä on mahdollista suorittaa tarkoituksenmukaisista stereo-kuvista.

— »Ilma-arvioinnin» suorittaa epäilemättä parhaiten tottunut metsänarvostelija. Ja mikäli mahdollista hänen olisi etukäteen suurin piirtein terrestrisesti tutustuttava arvioitavaan alueeseen alkuperäiset ilmakuvat (kontaktikopiot) mukanaan.

Edellä on stereoplaani grafi esitetty stereokuvien mitä tarkoituksenmukaisimpana kartoitusvälineenä; myös niistä tapahtuvaan metsänarvioimiseen se soveltuu erinomaisesti, joskin yksinkertaisimmillakin välineillä (kokoonlaitettava peilistereoskooppi, stereokomparaattori) päästään välttäviin tuloksiin. Tekijä on selvittänyt stereo-kuvista tapahtuvan

metsänarvioimisen edellytyksiä juuri stereoplanigrafilla, sen käyttömahdollisuuksiin ja työskentelyn tarkkuuteen perustuen. Myös tarkastetut stereo-kuvat itse ovat olleet mitä sopivimmat metsänarvioimistarkoituksiin (mittakaava noin 1 : 7 500). — Koskapa stereoplanigrafi nykyään lienee täydellisin ja tarkin stereo-kuvien tulkintaväline, niin seuraavassa esitetyt tulokset ovat jonkinlaisia huippusaavutuksia, joiden ylittäminen lienee toistaiseksi vain poikkeustapauksissa mahdollista.

Talousskuvioiden tiluslajin ja kasvillisuustyypin (metsätyypin) määrittely stereo-kuvista ei ole tyydyttävällä varmuudella mahdollista. Tosin metsän puulaji- ja tiheyssuhteista sekä puiden latvusmuodosta ja pituudesta voi varsinkin tasaisissa metsissä arvioida päätiluslajit ja tyyppiryhmät jonkinlaisella todennäköisyydellä, mutta meillä yleensä vallitsevissa epäsäännöllisissä metsissä se ei käy pänsä.

»Maan nimi, jonka metsänarvostelija tavallisesti tiedustelee maastossa kysymyksessä olevalta paikkakunnalta kotoisin olevilta apureiltaan, jää ilmakuviin perusteella epävarmaksi. — Tuskinpa saattaisi luottaa kansanmiesten kykyyn sikäli ymmärtää ilmakuviin, että voisi uskoa heille kuvioiden nimeämisen.

Varsinaiset metsiköiden kuutiotekijät, puulajisuhteet, runkoluku, keskiläpimitta ja keskipituus on jokseenkin säännöllisissä metsiköissä mahdollista määrätä sellaisella tarkkuudella, että niihin perustuen kuutiomäärä voidaan määrätä tyydyttävän tarkasti. — Epäsäännöllisissä metsissä ei tämä sen sijaan liene mahdollista, kuten seuraavasta selviää.

Puulajisuhteita stereo-kuvista määrätessämme olemme vain kolmine pääpuulajinemme edullisemmassa asemassa kuin esim. Keski-Euroopan maat puulajirikkaane metsineen. Eri puulajimme, mänty, kuusi ja koivu eroittautuvat melko selvästi stereo-kuvissa. On kuitenkin huomattava, ettei Pohjolan suippolatvuksinen mänty eroittaudu niin selvästi kuusesta kuin keskieuropalainen aikaiseen pyöristynvä männyn latvus. Myös koivun erottaminen miltei samanvärisestä männystä voi tuottaa vaikeuksia; aikaisin keväällä, lehtien juuri puhjettua eroittautuu se vaaleana selvemmin. — »Björken erhåller i juni månad en grågrön färgton och b'drager under sommarmånaderna till att öka svårigheterna för lövträdens särskiljande från flygmaskin» (Lindquist 1931). — Meillä on tapana ilmaista puulajisuhteet arvioimalla, montako prosenttia kutakin puulajia on kokonaiskuutiomäärästä. Tottunut tarkastelija voinee sen arvioida

silmämääräisesti stereo-kuvistakin. Erinomaisen helppo on yhdellä yleisilmäyksellä arvioida eri puulajien osuus kokonaispinta-alasta eli niiden peittävyys, tai lukemalla määrätyltä alueelta kaikki puut (vrt. runkoluvun määrääminen) puulajeittain erikseen määrätä kunkin puulajin runkoluku hehtaaria kohti. — Erityisesti sekoituksen laatu (runggottainen tai ryhmittäinen) on helpompi arvioida ilmakuviin kuin terrestrisesti.

Metsikön runkoluvun määrääminen tapahtuu kuten maastossakin joko lukemalla kaikki puut tai koealamenetelmien avulla. Koko metsikön »yksin puin» lukeminen tapahtuu parhaiten yksinkertaisen stereoskoopin (esim. kokoontaitettava peilistereoskooppi) avulla; lukemisen helpottamiseksi voidaan käyttää esim. kuvan päälle asetettua pinta-alapöytä. Tällainen lukeminen, jos tarpeen, niin eri puulajit erottaen, antaa varsin tarkan luvun vallitsevasta jaksosta, mutta vallitut puut ja meillä niin tärkeä alimetsä jäävät jokseenkin kokonaan pois. — Koealat voidaan ottaa kuten maastossakin suorakaiteen, ympyrän tai linjan muotoisina. Erityisen käteväksi muodostuu yhdistetty metsikön runkoluvun, puulajisuhteiden ja pituusjakaantumisen linja-arvioiminen stereoplanigrafilla (vrt. s. 26).

Metsikön tiheys kuvastuu jo sen runkoluvussa. Meillä on kuitenkin tapana ilmaista tiheys (eri jaksot eritellen) lausumalla, montako kymmenesosaa koko käytettävissä olevasta kasvualasta on kysymyksessä olevan jakson hallussa. Tämä tiheyden määrääminen tapahtuu tavallisesti metsässä silmävaraisesti arvioimalla. — Stereo-kuvista tuo tiheyden silmävaraisarviointi on helpompaa ja varmempaa kuin maastossa; näkyyhän metsikkö niissä kokonaisuudessaan, ja tarkastelijan on helppo arvioida metsikön keskimääräinen tiheys. Stereoplanigrafilla voi myös yksinkertaisesti »kartoittoa» kaikki aukot¹⁾, ja sitten planimetrillä määrätä niiden yhteisen pinta-alan; tällöin voi planimetrin suorastaan liittää koordinatografian piirtimeen. Pienimmät yksityisten puiden väliin jäävistä aukoista eivät tosin tällöin tule esille, mutta kaikki suurehkot, varsinaiset aukot, myrskyntuhokohdat ja hakkuiden jäljet näkyvät selvinä.

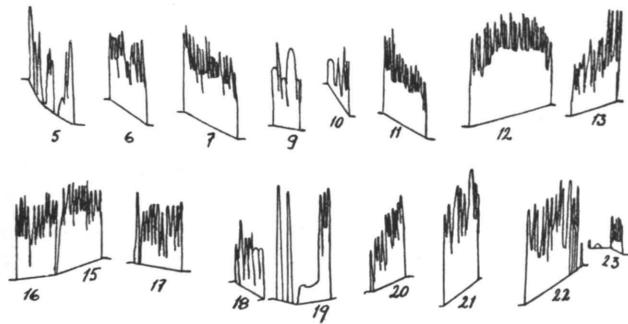
Metsikön pituussuhteiden selvittämiseen on stereoplanigrafi varsin kätevä (vrt. s. 35). Myös stereokomparaattorilla päästään tyydyttäviin tuloksiin, joskin työskentely sen kera on hidasta ja epätarkempaa; mielivaltaisesti otettujen stereo-kuvien virheetön keskinäinen

¹⁾ Aukkoja kartoitettaessa on käytännöllisintä kytkeä stereoplanigrafiin ns. p s e u d o s t e r e o s k o o p p i n e n v a i k u t u s, jolloin kuva kääntyy pystysuunnassa ylösalasin, ja puiden latvukset esiintyvät kartiomaisina kuoppina niiden välistä näkyvien maalaikkujen muodostamasta pinnasta.

asennoiminen ei näet ole siinä mahdollista. — Stereoplanigrafilla yksityisen puun pituuden mittaaminen käy nopeammin ja tarkemminkin (keskimääräinen virhe noin ± 20 cm) kuin yleensä maasta käsin. Tämän vuoksi pituusmittauksia voidaankin tehdä varsin runsaasti — seikka, joka oleellisesti erottaa »ilma-arvioinnin» terrestrisestä. Edellä on jo mainittu, että yksityisen puun pituuden mittaamiseksi tulee maan se alla olla näkyvissä. Tämä ehto ei ole metsässä läheskään aina täytetty, ei varsinkaan taajoissa tiheiköissä ja riukumetsissä — meidän harvahkoissa, luontaisesti syntyneissä metsissämme tosin useammin kuin esim. Saksan taajoissa viljelysmetsiköissä. Stereoplanigrafi mittaa vain pystysuoran korkeuden; jos puut esim. tuulessa heiluessaan ovat vinossa, muodostuu pituusmittaus siis virheelliseksi. Jo tästäkin syystä metsätaloudellinen ilmavalokuvaus olisi suoritettava vain tyynellä säällä.

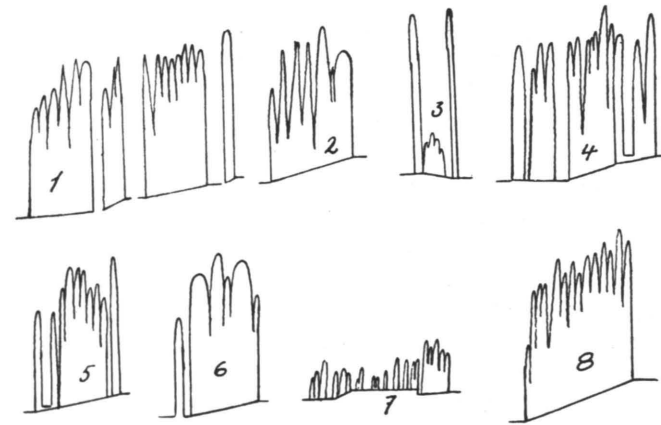
— Taajoissakin metsissä käy puiden pituuden mittaaminen kuitenkin metsikön aukkokohtissa, reunoissa ja teiden varsilla päinsä; yksinomaan tällaisten mittausten suorittaminen johtaa kuitenkin helposti systemaattiseen virheeseen, koska puut usein juuri noissa kohdissa ovat pisimmät.

Metsikön pituusjakaantuminen selvitetään stereokuvista kätevimmin piirtämällä stereoplanigrafilla sen pystykuvaa: kuljettamalla kartoituskoneen osoitinpistettä metsikön läpi siten, että se nousee kunkin puun latvan huippuun ja välillä painuu maahan, mikäli maa on näkyvissä, piirtää koordinatografi (korkeusmittakaava sopivimmin = 10 kertaa pituusmittakaava) kauniisti metsikön pystykuvan (saks. Vertikalprojektion, Wuchsraumprofil). Piirtämällä tämä pys-



Kuva 7. — Pystykuvia (Wuchsraumprofil) kuusivaltaisista metsiköistä; piirretty kuvassa 5 esiintyvistä metsiköistä, joihin numerointikin viittaa. Pyökki eroittautuu pyöreähkön latvuksensa johdosta suippolattaisesta kuusesta. »Maa» on vedetty maapisteiden keskiarvona. Vaakamittakaava 1 : 10'000, pystymittakaava 1 : 3'000.

tykuva määrätäisyyksin määrätyn levyisiltä (esim. 10 m) linjoilta saadaan metsiköstä yhdistetty puulajisuhteita, runkolukua ja pituusjakaantumista selvittävä linja-arvio. Tällaisia tekijän piirtämiä metsiköiden pystykuvia esittävät kuva 6 ja kuva 7. Esim. metsikön keskipituus lasketaan niistä keskimääräisenä latvus- ja maapisteiden korkeuserona. Se voidaan määrätä myös mekaanisesti jakamalla pystykuvan pinta-ala sen vaakasuoralla pituudella; pinta-alaa planimetrillä määrätessä on planimetrin nastaa tällöin kuljetettava puiden latvan kärjestä kärkeen eikä niiden latvuspintoja myöten. — Metsikön valtapituus määrätään pystykuvasta valtapuiden pituuksien keskiarvona.



Kuva 8. Pystykuvia mäntyvältaisista metsiköistä (Saksa, Bärenthoren). Pyökin pyöreähkö latvus eroittautuu suippommasta männystä. Vaakamittakaava 1 : 5'000, pystymittakaava 1 : 1000.

Puiden läpimitan määrääminen stereo-kuvista ei ole välittömästi mahdollista. Metsikön kasvuiällä (taimistoissa, tiheiköissä ja riukumetsissä) vallitsee säännöllisissä, tasaikäisissä metsiköissä kuitenkin puiden läpimitan ja niiden latvuksen maksimileveyden välillä melkoinen riippuvaisuus. Niinpä männyn latvuksen maksimileveys olisi Saksassa suoritettujen tutkimusten mukaan (Zieger 1929) ainakin näennäisesti metsikön iästä ja kasvupaikan hyvyydestä (boniteetista) riippumatta sen rinnankorkeusläpimitan jokseenkin suoraviivainen funktio. Täten voitaisiin siis yksinkertaisesti graafisesti mää-

rätä latvuksen läpimitan ja rinnankorkeusläpimitan suhde («Ausladung») kussakin latvusläpimittaluokassa. Ziegerin tutkimukset on suoritettu täysitiheissä, tasaikäisissä viljelysmänniköissä. Ilmeisesti tuo suhde epätasaisissa, aukkoisissa ja eri-ikäisissä metsissä menettää taksatoorisen merkityksensä. — Ziegerin käyttämää latvuksen maksimi-läpimittaa täsmällisempi olisi latvuksen keskimääräinen läpimitta, joka saadaan mittaamalla latvuksen leveys kahdessa toisiaan vastaan kohtisuorassa suunnassa ja laskemalla sitten näiden leveyksien keskiarvo. Latvusten jakaantuminen eri leveysluokkiin voidaan helposti määrätä stereokuvista (esim. stereoplanigrafilla tai kokoontaitettavalla peilistereoskoopilla ja sen piirustusstereometrillä¹⁾, ja täten saada siis myös jonkinlainen kuva metsikön läpimittajakaantumisesta. — Metsikön läpimittajakaantuminen on sen ehkä arvokkain metsätaloudellinen karakteristiikka; esiintyyhän se ratkaisevana tekijänä metsikön kuutiomäärälaskelmissa ja josinäkään antaa melkoisen hyvän kuvan metsikön teknillisistä käyttömahdollisuuksista. Metsikön valtapuiden, sen taloudellisesti arvokkaimman osan, pituus- ja latvusleveyserot ovat suhteellisesti siksi vähäiset, ettei metsikön niin pituus- kuin latvusleveysjakaantuminenkaan voi korvata terrestrisesti verraten helposti ja tarkasti määrättävissä olevaa läpimittajakaantumista, eikä sitä liioin voine niiden avulla laskea metsätaloutemme vaatimuksia tyydyttävästi.

Metsikön ikää ei voine stereo-kuvista tyydyttävästi arvioida — ei ainakaan välittömästi — koska metsätyypin määrittely on epävarma. Hugerhoffin (1933) mukaan iän määrittäminen olisi kuitenkin mahdollista — ja ehkäpä se onnistuuikin saksalaisissa, säännöllisesti harvenneissa viljelysmetsiköissä; ikä olisi hänen mukaansa määrättävissä puiden pituuden sekä latvusleveyden ja pituuden suhteen funktiona. Meikäläisissä verraten luonnontilaisissa metsissä ei esim. kasvu- ja tuottotaulujen (Ilvessalo, Yrjö 1920) mukaan kahden samanpituisten, mutta metsätyypiltään eriävän metsikön runkolukujen välillä ole mitään oleellista eroa. Jo tästä käy päätteleminen, ettei niiden keskimääräinen latvusleveyskään

¹⁾ Latvusleveyttä mitattaessa on ilmakuvaan mittakaava tunnettava. On huomattava, että epätasaisessa maastossa eri korkeuksilla olevat latvukset esiintyvät eri mittakaavoissa. Mikäli korkeuserot ovat vähäiset, on tästä johtuva virheellisyys pieni; siihen on joka tapauksessa kiinnitettävä huomiota. Vain stereoplanigrafilla suoritetuissa mitauksissa tämä virhe eliminoituu automaattisesti.

voi suuresti poiketa toisistaan — mihin eroon näet yllä mainittu Hugerhoffin esittämä iän määräämismenetelmä perustuu. — Sen sijaan näkyy — käytännöllistä metsänhoitoa silmällä pitäen ehkä ikää tärkeämpikin — metsikön luontainen kehityskausi (taimisto, tiheikkö, riukumetsä, tukkimetsä) selvästi.

Metsikössä mahdollisesti esiintyvistä eri jaksoista eroitautuu ylimetsä selvästi vallitsevasta jaksosta, kun sen sijaan kuva alimetsästä jää kokonaisuudessaan epäselväksi; suurimmaksi osaksi sitä ei edes näy. Myös vallitsevan metsän sisäinen rakenne, sen puiden jakaantuminen eri puoluokkiin, on epäselvä.

Metsikön kuutiomäärän hehtaaria kohti voi totunut stereo-kuvien tarkastelija suorastaan arvioidakin, aivan kuten maastossakin on yleisesti tapana, mutta varmintä on sen määrittäminen perustaa edellä esitettyihin metsikön »kuutiotekijöihin», koska stereo-kuvat välittömästi antavat varsin epämääräisen kuvan metsikön läpimittajakaantumisesta. Tässä suhteessa esitettäköön eräitä näkökohtia.

— Epätasaisissa (lähinnä pituus- ja tiheyssuhteiltaan epätasaisissa) metsiköissä stereo-kuviin perustuva kuutiomäärälaskelma ei vastaa metsätaloutemme vaatimuksia; tämä johtuu ensi sijassa siitä, että stereo-kuvista ei voida määrätä metsikön läpimittajakaantumista tyydyttävällä tarkkuudella, ei edes latvusten leveysjakaantumisenkaan avulla. Seuraavassa esitetyt kuutiomäärän laskemistavat johtavat niin ollen käyttökelpoisiin tuloksiin vain tasaisissa (jokseenkin tasaikäisissä, -korkeissa ja -tiheissä) metsiköissä, joista meillä ovat tärkeimmät ns. luonnon normaalit metsiköt.

Kuutiomäärälaskelma voidaan ensinnäkin perustaa tavallisiin kuutiomistauluihin; ne edellyttävät yleensä puun rinnankorkeusläpimitan tuntemista. Edellä esitetyn mukaan se määrätään stereokuvista latvuksen keskimääräisen leveyden sekä rinnankorkeusläpimitan ja tämän suhdetta osoittavien apulukujen perusteella. Nämä apuluvut on niin ollen etukäteen laskettava paikallisia oloja silmällä pitäen ja kyllin laajaan aineistoon perustuen. — Luonnollisempaa olisi ehkä kuitenkin laatia tällöin suoraan puiden pituuteen ja niiden latvuksen maksimi-läpimitaan perustuvat kuutiomistaulut. — Tämä kuutiomistauluihin perustuva kuutiomismenetelmä johtanee säännöllisissä metsiköissä tarkkuudessaan terrestristä silmävaraisarviointia vastaaviin tuloksiin.

Jos stereo-kuvista arvioitavan alueen metsätyypit tunnetaan joko aikaisempien arvioimistöiden perusteella tai maastossa suoritettujen ilma-arviointia täydentävien töiden perusteella — joka tapauksessahan niiden tunteminen on lopulta välttämätöntä — niin kuutiomäärälaskelma voidaan perustaa myös kasvu- ja tuottotauluihin; saadaanhan stereo-kuvista näet metsikön pituus- ja tiheysuhteet selvitettyä varsin tarkasti, valtapituuden ja metsätyypin perusteella ikä sekä ikään ja tiheyteen perustuen kuutiomäärä hehtaaria kohti.

Erityisesti ilma-arvioinnille ominaisina kuutiomäärän laskemismenetelminä H u g e r s h o f f (1933) on esittänyt »latvusalamenetelmä» (saks. Kronenflächenverfahren) ja »profiilimenetelmä» (saks. Profilverfahren).

Latvusalamenetelmä perustuu stereo-kuvista piirrettyihin latvusalapiiirroksiin (vrt. s. 25), metsikön keskipituuteen sekä »latvusalamuotolukuihin» (saks. Kronenflächenformzahlen); viimeksi mainitut ovat apulukuja, jotka saadaan laajan aineiston perusteella laskemalla metsikön latvusala \times keskipituuden ja kuutiomäärän suhde. Siis:

$$M = K U F,$$

jossa M = metsikön kuutiomäärä hehtaaria kohti, K = metsikön latvusala samoin hehtaaria kohti, U = metsikön keskipituus ja F = vastaava latvusalamuotoluku.

Profiilimenetelmä perustuu kartoituskoneella määrävälimatkojen piirrettyihin metsikön pystykuviin (vrt. ss. 26—27) — »kasvutilaprofiileihin» (saks. Wuchsraumprofil). Metsikön kokonaiskasvutila saadaan niihin perustuen kertomalla niiden kokonaispinta-ala (määrätään kiinnittämällä planimetri kartoituskoneen piirtimeen) niiden keskinäisellä etäisyydellä. Siis:

$$R = aq,$$

jossa R = metsikön kasvutila, a = metsiköstä piirrettyjen pystykuvien keskinäinen etäisyys ja q = pystykuvien pinta-alasumma. Kuutiomäärälaskelma edellyttää riittävään aineistoon perustuvia apulukuja, tiheyslukuja (saks. Dichtezahl), jotka ilmaisevat metsiköiden kuutiomäärän ja niiden kasvutilan suhteen. Näiden tiheyslukujen perusteella saadaan siis metsikön kuutiomäärä seuraavan kaavan mukaan:

$$M = R D,$$

jossa M = metsikön kuutiomäärä, R = sen kasvutila ja D = vastaava tiheysluku.

Kuten edellisestä ilmenee, nämä kaksi viimeksi esitettyä metsikön kuutiomismenettelyä ovat aivan mekaanisia ja pohjautuvat siksi yksipuolisiin metsikkökarakteristiikkoihin, etteivät ne johtane kovinkaan tarkkoihin tuloksiin.

Z i e g e r (1929) on suorittanut kuutiomäärälaskelmia stereo-kuvista, ensinnä latvusläpimittaan perustuvien kuutiomistaulukkojensa ja sitten latvusalamuotolukuihin perustuen ja päätynyt noin 7 % virheeseen terestriisiin koelamittauksiin verrattuna. Hän on suorittanut tutkimuksensa täystiheissä, tasaikäisissä viljelysmänniköissä.

M e t s i k ö n l a a d u n (kvaliteetin) so. solakkuuden, oksikkuuden ja vikanaisuuksien arvostelevinen ei ole mahdollista stereo-kuvista; vain solakkuudesta metsikön pystykuvat antavat jonkinlaisen kuvan.

Metsikön todellista metsänhoidollista tilaa ei voi stereokuvista arvioida metsätaloutemme vaatimuksia tyydyttävästi. — Tosin täysin luonnontilaisissa tai muuten aivan säännöllisissä metsiköissä sen arviointi on suhteellisen helppoa, mutta tällöinkin arvostelu perustuu paremminkin aikaisempiin tutkimuksiin tuollaisista metsiköistä kuin edessä olevaan stereo-kuvaan. Varsinkin metsikön läpimittajakaantumisen, laadun ja mahdollisen taimiston esiintymisen epäselvyys vaikeuttavat arviointia. — Näin ollen myös metsikön edellyttämien hoito- ja käyttötoimenpiteiden sekä niissä kerääntyvän hakkausmäärän arvostelevinen jäävät vaille välttämättömiä perusedellytyksiään.

Uusien teiden ja ojitusten suunnittelu on stereo-kuvien avulla helppoa; maaston korkeussuhteet samoin kuin muutkin tie- ja ojaverkoston kannalta oleelliset piirteet näkyvät yleiskatsauksellisesti, ja samalla kuitenkin yksityiskohdatkin ovat mukana.

Edellä esitetystä katsauksesta ilmenee, että niin hämmästyttävän tarkasti kuin muutamat metsikkökarakteristiikat — lähinnä eräät metsikön »matemaattiset kuutiotehtävät» — voidaankin stereo-kuvista määrätä, jää metsien biologia ja niiden metsänhoidollinen tila selvittämättä. — Koska juuri viimeksi mainituilla on meikäläisessä metsätaloudessa aivan perustava merkitys, ei ilmavalokuvaus, ei edes sen yksityiskohtaisimpiin tuloksiin vievä muoto, stereo-valokuvauskaan, voi korvata terestristä metsänarvioimista. Sen sijaan stereo-kuvat täydentävät monessa suhteessa talouskarttojen ja -kirjojen metsistämme antamaa kuvaa. — Vaikka muutamissa saksalaisissa tutkimuksissa onkin tultu varsin myönteiseen tulokseen metsätaloudellisten ilmakuviin ja

ilma-arvioinnin suhteen, eivät ne käytännön metsämiesten keskuudessa Saksassakaan kuitenkaan yleensä ole saaneet erityistä tunnustusta osakseen. Esim. K r u t z s c h (1924) mainitsee: »Es darf hierbei nicht verschwiegen werden, dass ein Luftbild eine gute Bestandesbeschreibung keineswegs zu ersetzen vermag, mindestens nicht für wissenschaftliche Zwecke. Eine Bestandesbeschreibung durch Worte und Zahlen in Verbindung luftbildlicher Darstellung und Ergänzung durch Erdbilder dürfte aber zurzeit das vollkommenste sein, was auf diesem Gebiete geleistet werden kann». — Tässä yhteydessä korostettakoon lisäksi erityisesti sitä, että ilmakuvat antavat metsämiehelle kuvan metsästä kokonaisuudessaan; seuraavassa esitetään muutamia näkökohtia tässä suhteessa, vaikkakin samalla joudutaan hieman poikkeamaan esityksen varsinaisesta aiheesta.

— Yleensä ajattelemme metsää metsiköittäin. Niiden muodostama kokonaisuus, metsä, on siksi laaja käsite, että se mielukuvituksessamme tavallisesti pirstoutuu metsikköihin; yhtenä syynä on varmaan se, ettemme yleensä näe välittömästi metsää kokonaisuudessaan vaan ainoastaan metsiköt. Ja kuitenkin sisältää metsä epäilemättä enemmän kuin pelkän metsiköiden summan. Esim. Heck (1927) korostaa erityisesti: »Der Wald ist eine geordnete Ganzheit». Lähinnä juuri metsän vaikeasta yleiskatsauksellisuudesta johtunee, että käsityksemme tästä »geordnete Ganzheit» on kuitenkin vielä jokseenkin hämärä. Onhan esim. yleiskatsauksellisimmilla soillamme jo koottu tällaisia kasviyhdyksuntien (suotyypien) kokonaisuuksia, suoyhtymiä (suokomplekseja), joiden tutkiminen kokonaisuutena on antanut uusia arvokkaita tuloksia. Tuollaisia metsälle kokonaisuudessaan kuuluvia piirteitä ovat esim. eri metsätyyppien keskinäinen järjestäytyminen jollakin yhtenäisellä metsäalueella, siinä mahdollisesti havaittava kehitys tai taantuminen, metsän rajoittuminen muihin kasviyhdyksuntiin (esim. soihin ja vesistöihin), eri metsiköiden puulajisuhteiden riippuvaisuus toisistaan, kulojen merkitys koko metsälle jne.

— Stereo-ilmakuva jos mikään antaa elävän kokonaiskuvan metsästä sen yksityiskohtia, ei edes yksityisiä puita, hävittämättä. Metsänlaiteiden, vaarojen eri rinteiden, soistumien jms. merkitys kokonaisuudelle avautuu havainnollisena katselijan eteen. Täten stereo-kuva tarjoaa aivan uuden tutkimusalan metsämiehelle.

Aikaisemmin on jo viitattu stereo-kuvien suureen arvoon metsikköhistoriallisena asiakirjana varsinaisten met-

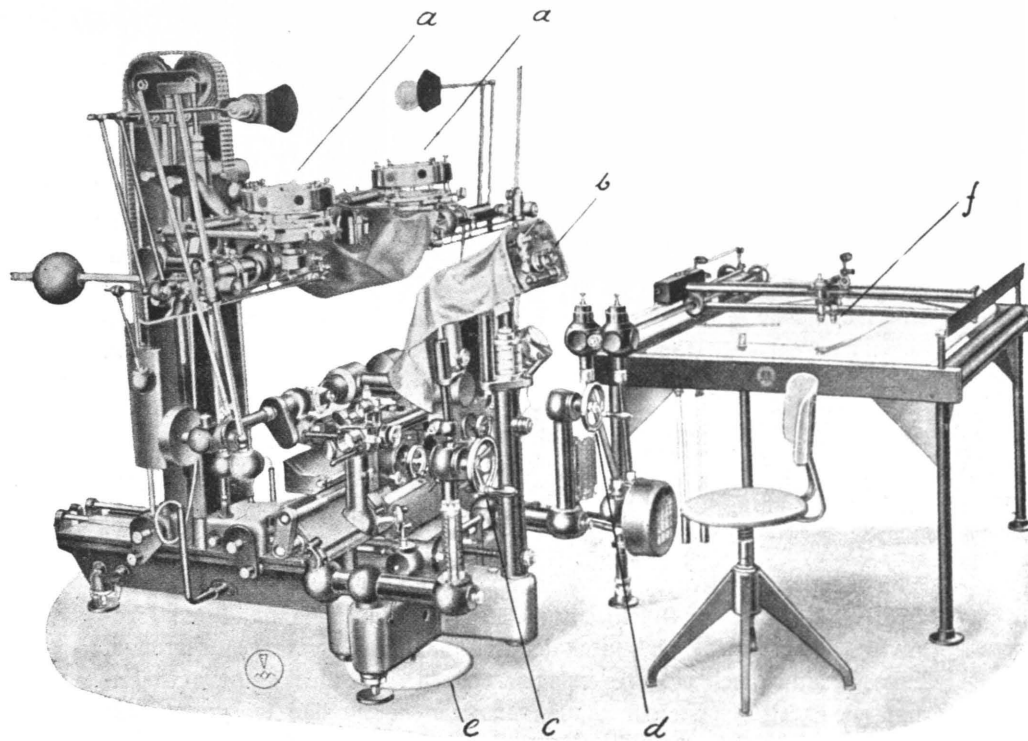
sikkökuvauksen täydentäjänä; erityisen merkityksen antaa niille mahdollisuus suorittaa vielä jälkeensä sellaisia mittauksia, joiden tarpeellisuus ilmaantuu vasta myöhemmin. Tässä tarkoituksessa onkin esim. Saksassa stereo-ilmavalokuvattu v. 1924 ja toistamiseen v. 1934 Anhaltissa sijaitseva Bärenthorenin mallihoitoalue, Roggenburgin metsässä Baierissa v. 1920 sattunut suuri myrskytuho (noin 4'500 ha, vrt. Rebel 1924), Eberswalden hoitoalueessa Preussissa sattunut laaja hyönteistuho ym. Ruotsissa on Lindquist (1931) pääasiassa lentokoneesta käsin kartoittanut pyökin esiintymisen. Meillä olisivat erityisesti kokeilumielessä suoritettavat erilaiset hakkaustavat ja luonnonsuojelualueemme kiitollista valokuvattavaa.

Ilmakuvien tulkinnassa käytetyistä kojeista.

Tässä yhteydessä tarkastetaan vain muutamia metsätalouden kannalta kiintoisia, lähinnä stereo-kuvien tulkintaan soveltuvia kojeita — kaikki Zeiss-Aerotopograph G. m. b. H. Jena valmistamia.¹

Stereoplanigrafi (Zeiss Stereoplanigraph Modell C/4 1930, kuva 9) lienee nykyään täydellisin ja monipuolisin stereokuvien automaattinen tulkintakoe. Sen toiminnan periaate on seuraava. Esim. jotain maisemaa stereo-valokuvattaessa valonsäteet kulkevat maiseman yksityisistä pisteistä kahden kameran linssin läpi ja synnyttävät kuvan valonherkille levyille. Stereoplanigrafissa valonsäteiden kulku on päinvastainen; säteet kulkevat voimakkaasti valaistuista valokuvalevyistä (joko alkuperäisistä negatiiveista tai niistä lasille valmistetuista diapositiiveista) kahden ottokameraita vastaavan linssijärjestelmän läpi, projisioidaan vieretysten ja synnyttävät niitä stereoplanigrafian stereoskoopilla yhtäaikaan tarkastettaessa avaruuskuvan. Stereoplanigrafi on rakennettu mielivaltaisessa suunnassa otettuja, 18 × 18 cm:n suuruisia stereokuvia silmälläpitäen, mutta myös pienemmät levyt sopivat siihen. Kuvia kojeeseen asetettaessa on lentokorkeus pyöreän luvuin tunnettava sekä peräkkäisten kuvien ottoetäisyys (saks. Basis), jonka sarjavalokuvauksine

¹ Metsätalouden kannalta tärkeimpien tulkintakojien hinnoista mainittakoon Zeiss-Aerotopograph G.m.b. H. Jena tammikuussa v. 1938 antamien hintatietojen mukaan (kaikki Saksan markkoissa): stereoplanigrafi 68'000: —, kokoon-taitettava peilistereoskooppi 2 00: — (siihen kiikari 80: —, piirustusstereometri 175: — ja yhdensuuntaiskuljetin 570: —) ja taskustereoskooppi 6: —. Muista ilmavalokuvauksvälineiden valmistajista mainittakoon Verkauf-A. G. H. Wilds geodätische Instrumente, Heerbrugg, Schweiz.



Kuva 9. Stereoplanigrafi koordinatografian kera. Stereo-kuvat asetetaan kehyksiinsä (a) ja orientoidaan optisesti samaan keskinäiseen asemaan, missä ne olivat kuvia otettaessa. Piirtäjä istuu kojeen edessä olevalla tuolilla ja katselee kiikarista b siinä näkyvää avaruuskuvaa sekä osoitinpistettä. Hän liikuttaa osoitinpistettä vaakasuuntaan käsisivuilla c ja d sekä pystysuuntaan jalkalevyllä e. — Pöydällä oleva koordinatografi (f = piirtimen kärki) siirtää osoitinpisteen vaakaliikkeet haluttuun mittakaavaan allaan olevalle paperille. — 1/20 luonnollisesta koosta.

säännöstelee vakioksi. Kameran kallistumisesta niin lentosuunnassa kuin sivullepäinkin johtuva virhe eliminoidaan asennoimalla kuva optisesti kolmen kiintopisteen avulla. Tämä kuvien sovittaminen kojeeseen on verraten työläs toimitus, joka tottumattomalta vie puolisen päivää ja tottuneeltakin noin 30 minuuttia. Mutta sitten työskentely onkin helppoa ja varmaa. Kojeen etuosassa olevaan kiikariin katsottaessa näkyy stereokuvista syntyvä avaruuskuva erinomaisen selvänä. Kahta käsirengasta ja yhtä jalkalevyä pyörittämällä voi avaruuskuvassa näkyvää osoitinpistettä liikuttaa kaikkiin kolmeen ulottuvaisuuteen. Osoitinpisteen lii-

kunta on kytketty koordinatografiin, joka siirtää sen haluttuun mittakaavaan paperille. Lyhyehkön harjoittelun jälkeen tottuu käyttämään vipuja täysin vaistomaisesti; piirtäjä vain katselee kiikariin, ja osoitinpiste liikkuu kuin kynä kädessä hänen tahtonsa mukaan.

Tottunut työskentelijä selvittää ilmakolmiointia käyttäen noin 6—7 kuvaparia päivässä.

Stereoplanigrafi eliminoi maaston epätasaisuuksista esim. tavallisissa pystykuvissa esiintyvät virheellisyydet sekä lisäksi osoittaa eri maastopisteiden korkeuden määrätystä nollapisteestä lukien; korkeus luetaan kiikarin alapuolella olevasta asteikosta. Kiinnittämällä osoitinpiste määrätyle korkeudelle ja liikuttamalla sitä sitten niin, että se sivuaa koko ajan maastoa, koordinatografi piirtää automaattisesti tuota kiinnitettyä korkeutta vastaavan korkeuskäyrän. Rakennusten, puiden ym. korkeuden voi yksinkertaisesti mitata siirtämällä osoitinpisteen maasta halutulle korkeudelle ja lukemalla korkeusasteikosta näiden asemien korkeuseron.

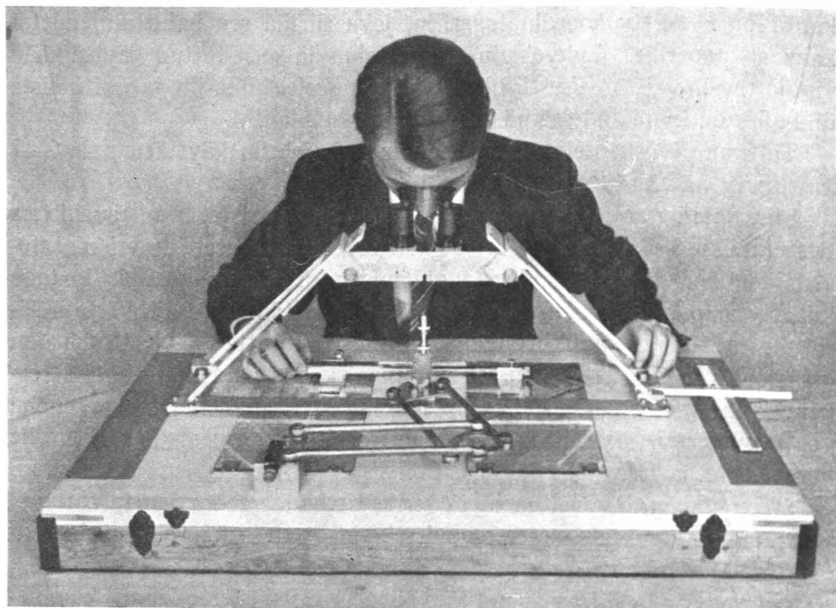
Stereoplanigrafi soveltuu myös terrestriestien stereo-kuvien tulkintaan. Esim. metsästä otetuissa stereo-kuvissa voidaan suorittaa mittauksia kuin maastossa konsanaan.

Aeroprojektor Multiplex projisioi stereo-kuvat komplementtivärisinä (punaisena ja vihreänä) päällystysten (anaglyphen-menetelmä); tätä kuvaa katsellaan vastaavasti komplementtivärisillä silmälasilla, jolloin se esiintyy avaruuskuvana. Kuva voidaan piirtää kartalle erityisen kolmeen ulottuvaisuuteen liikkuvan merkkipöydän avulla. Epätasaisestakin maastosta syntyy kartta oikeissa suhteissa — voidaanpa korkeuskäyrätkin suurin piirtein vetää.

Multiplex havainnollistuttaa erinomaisen selvästi stereo-kuvien tulkinnan periaatteen. Tästä syystä se soveltuu erityisesti demonstraatio- ja opetustarkoituksiin; esim. Saksassa näyttää sen käytäntö nykyään pääpiirteissään supistuvan tähän. — Metsäkuvien tulkintaan sen synnyttämä avaruuskuva on liian epäselvä.

Stereokompparaattorit, esim. Hegershoffin stereokompparaattori, on konstruoitu lähinnä stereo-kuvien kuvapisteiden koordinaattien määräämiseen. Ilmakuvien tulkinta niiden avulla on hidasta, mutta terrestriestien stereo-kuvien yksityiskohtaiseen mittaukseen ne soveltuvat varsin hyvin.

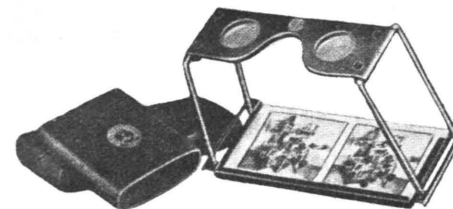
Kokoontaitettava peilistereoskooppi (kuva 10) on laadittu mukavasti kokoontaittavaksi ja soveltuu siten verraten suuresta koostaan huolimatta laatikossaan esim. metsäänkin kuljettavaksi. Yksi-



Kuva 10. Kokoontaitettava peilistereoskooppi kiikareineen, piirustusstereometreineen (tarkastelijan oikeassa kädessä) ja yhdensuuntaiskuljettimieen (Parallellführung) asetettuna laatikkonsa piirustuslautana toimivalle kannelle. Piirustusstereometrin alla näkyvät stereo-kuvat; kartta piirtyy samaan mittakaavaan niiden väliin.

tyiskohtaisessa tarkastelussa voidaan siihen kuvan selventämiseksi liittää erityisesti sitä varten valmistettu kiikari (4-kertainen suurennus). Karttaluonnosten valmistaminen ja vanhojen karttojen täydentäminen tapahtuu parhaiten juuri tätä stereoskooppia varten laaditulla piirustusstereometrillä (saks. Zeichenstereometer). Varsinkin harjaantumattomia piirtäjiä varten voidaan piirustusstereometriin vielä liittää yhdensuuntaiskuljetin (Parallellführung), joka pitää sen aina oikeassa asennossa. Tottunut piirtäjä tulee kuitenkin ilman sitäkin toimeen, koska piirustusstereometrin joutuessa väärään asentoon kuvan stereovaikutus heikkenee ja lopuksi häviää kokonaan. Piirustusstereometriin liittyy korkeusmittari, jolla voidaan esim. tavallisissa metsäkuvissa (mittakaava 1 : 6'000—1 : 10'000) suorittaa korkeusmittauksia noin 0,5 metrin tarkkuudella. — Kiinnittämällä korkeusmittari määrätyle korkeudelle ja liikuttamalla piirustusstereometriä siten, että se sivuaa koko

ajan maastoa, voidaan piirtää halutut korkeuskäyrät. Koska stereo-kuvia ei voida tavallisessa stereoskoopissa asennoida niiden ottoasentojen mukaan — kuvat lepäävät yksinkertaisesti vaakasuorassa asennossa stereoskoopin alla, rajoittuu piirustusstereometrin käyttö karttaluonnosten tekemiseksi ja vanhojen karttojen täydentämiseksikin vain miltei pystysuoraan alas otettuihin tai vastaavasti oikaistuihin stereo-kuviin.



Kuva 11. Taskustereoskooppi (Taschenstereoskop) valmistettu 6 × 13 cm:n kokoisia stereo-kuvia silmällä pitäen (alla oleva kuvakehys on sen suuruinen), mutta irrottamalla kuvakehys pois se soveltuu muunkin kokoisten stereo-kuvien tarkasteluun. 1/5 luonnollisesta koosta.

Taskustereoskooppi (Taschenstereoskop, kuva 11) on yksinkertainen Zeissin valmistamista stereo-kuvien tarkasteluvälineistä. Se on rakennettu erityisesti 6 × 13 cm:n stereo-kuvia varten (Zeiss valmistaa näet 6 × 13 cm:n stereo-käsi-kameroita), mutta se soveltuu myös esim. kirjoissa esiintyvien stereo-kuvien ja suurikokoistenkin stereo-kuvien (esim. metsäkuvien) tarkasteluun. Pienen kokonsa vuoksi se on mukava milloin hyvänsä mukana kuljetettavaksi.

Näkökohtia ilmavalokuvauksen merkityksestä metsätaloudessamme.

Edellä on jo useassakin kohdassa ilmennyt, että maamme luonnonsuhteet ovat monella tavoin suotuisat ilmavalokuvaukseen, epäilemättä suotuisammat kuin esim. Keski-Euroopassa. Lukuisat järvet tarjoavat miltei kaikkialla sopivia laskeutumispaiikkoja lentokoneille. Vesistöt, järvet ja joet, antavat kiintokohtia ilmakuvulle. Lukuisat suomme jakavat kangasmaat ilmastakin käsin varsin selvärajaisiin kuvioihin; näin varsinkin Pohjois-Suomessa. Maastomme on yleensä siksi laakeata, että useimmissa tapauksissa jo oikaistut pystykuvat riittävät kartoituksen pohjaksi.

Laajat alueet maastamme, esim. miltei koko

Pohjois-Suomi, ovat toistaiseksi niin puutteellisesti kartoitettuja, että sopivaan mittakaavaan (Etelä-Suomessa 1:10'000 ja Pohjois-Suomessa 1:20'000) suoritettun stereo-ilmavalokuvauksen perusteella suoritettu uudiskartoitus tai vanhan kartaston täydennys todella merkitsee oleellista parannusta. Myös metsäkartat ovat monin seuduin niin »suurpiirteiset», etteivät ne voi jatkuvasti riittää yhä intensiivisemmäksi käyvän metsätalouden perustaksi.

Saksalaiset suosittelevat ilmavalokuvausta sekä siihen perustuvaa kartoitusta ja metsänarvioimista erityisesti taloudellisesti kehittymättömissä (unentwickelt) maissa erinomaisia tuloksia antavana esim. pohjoismaissakin käytettäväksi. — Epäilemättä kartastomme ja metsänarviokirjamme ovat monessa suhteessa suurpiirteisiä vastaaviin keskieuropalaisiin verrattuina, mutta toisaalta ei maamme nyt sentään enää aivan tutkimatonkaan (unerschliesst) ole! Suurpiirteisen ilmavalokuvauksen »löytöretkeilijä»-kausi on meillä jo sivuutettu. Ilmavalokuvauksella ei ekstensiivisenä menetelmänä liene meillä enää sannottavia tehtäviä. — Mikäli ilmavalokuvaus suoritetaan niin, että se todella vastaa metsäkartastollemme nykyisin asetettavia vaatimuksia ja että se samalla antaa jonkinlaisen kuvan itse metsistäkin, on se suoritettava kyllin suuressa mittakaavassa stereo-valokuvauksena; tällöin ei menetelmä enää ole ekstensiivinen, vaan keskieuropalaisenkin mittapuun mukaan intensiivinen. Ja kustannukset ovat sen mukaiset. — Yleensä on ilmavalokuvauksen ja siihen perustuvan kartoituksen kustannusten laskeminen varsin epävarmaa; ne ovat näet riippuvaisia niin moninaisista, osittain satunnaisistakin tekijöistä; ensinnäkin siitä geodeettisesta perustasta, joka on käytettävissä, maaston laadusta, tehtävän laajuudesta, sääsuhteista, lentotukikohtien sijainnista, halutusta mittakaavasta, vaaditusta tarkkuudesta ym. Niinpä 2'000 ha pienempiä alueita ei juuri kannata muuta kuin erityisen suotuisissa olosuhteissa kartoittaa ilmavalokuvauksen perustuen ja yleensä lasketaan Saksassa (esim. Schierer 1925), että yli 1:5'000 mittakaavaan tulee terresterinen mittaus halvemmaksi. Ja kuitenkin ilmavalokuvauksen teknilliset edellytykset ovat juuri Saksassa mitä suotuisimmat. Jonkinlaisena orientoivana lukuna meikäläisiä oloja silmällä pitäen mainittakoon, että puolustusministeriön topografikunnan ilmakuvaus (stereo-valokuvaus mittakaavaan 1:20'000

ja ilmakuvaus) on tullut maksamaan noin Smk. 2:30 hehtaarilta (Löfström 1935). — Siis joka tapauksessa noin puolta halvemmaksi kuin vastaavaan mittakaavaan maastossa suoritettu metsämaiden kartoitus. Mikäli ilmavalokuvaus suoritetaan mittakaavaan 1:10'000, joka metsätaloutta silmällä pitäen on sopivin, nousevat kustannukset noin nelinkertaisiksi. — Lienee kuitenkin vain ajan kysymys, milloin Etelä-Suomen metsätaloudessa peruskartta 1:10'000 käy välttämättömäksi. Silloin muodostuu ilmavalokuvauksen (1:10'000) perustuva kartoitus nopeammaksi ja todennäköisesti melkoista halvemmaksi kuin vastaava maastokartoitus.

Puhtaasti metsätaloutta silmällä pitäen suoritettuna ilmavalokuvauksen merkitys perustuu pääasiassa sen avulla suoritettavaan kartoitukseen. Ilmavalokuvaus ei korvaa terrestristä metsänarvioimista, joskin se monipuolisesti täydentää sitä. Tämä täydennys ei kuitenkaan metsätalouden kannalta — ei ainakaan toistaiseksi — ole välttämätön eikä sen vuoksi riitä vastaamaan kustannuksiaan. Eikä se itse asiassa edes Saksassakaan, metsätaloudellisen ilmavalokuvauksen kotimaassa, ole saanut kokeiluja laajempaa käytäntöä.

Ilmavalokuvaus saattaa myös muitakin kuin metsätaloudellisia näkökohtia (esim. sotilaallisia) silmälläpitäen osoittautua tarpeelliseksi. Tällöin olisi erityisesti metsätalouden kannalta toivottavaa, että valokuvaus suoritettaisiin kyllin suureen mittakaavaan (Etelä-Suomessa 1:10'000 ja Pohjois-Suomessa 1:20'000) ja stereo-valokuvauksena. Tällaiset ilmakuvat esim. jostakin hoitoalueesta muodostavat sopivasti stereo-kuvastoksi järjestettyinä josin änsä hoitoalueen arkistoon arvokkaan täydennyksen.

Stereo-valokuvauksen perustuva kartoitus ja korkeuskäyrien piirtäminen saattaisi erityisesti tulla kysymykseen myös suurehkojen ojitussuunnitelmien pohjaksi. Onhan edellä jo huomautettu, että »ilmavaakitus» tarkkuudessaan jokseenkin vastanee tavanomaista soitemme terrestristä punnitusta.

Ilmavalokuvat, erityisesti stereo-kuvat, tarjoavat lisäksi metsätieteellemme uuden tutkimusalan; metsän kokonaisuus näkyy niissä erityisen selvänä. Esim. luonnonsuojelualueemme soveltuvat erinomaisesti tällaisiin tutkimuksiin; niiden stereokartoteekit tehostaisivat epäilemättä monnessa muussakin suhteessa niiden tieteellistä merkitystä sekä helpoittaisivat sopivien tutkimuskohtien ja koalojen valitsemista.

Kirjallisuusluettelo.

- A r o , E. J. 1934. Näkökohtia ilmavalokuvauksen käytöstä metsätaloudessa. Yksityismetsänhoitajyhdistyksen vuosikirja VII. Helsinki.
- Betänkande med utredning och förslag rörande rikets ekonomiska kartläggning och därmed sammanhängande organisationsfrågor angående rikets landkartverk. Avgivet av utredningsmännen för verkställande av utredning rörande rikets ekonomiska kartläggning. Statens offentliga utredningar 1936:42, Jordbruksdepartement. Stockholm.
- D a n i e l s o n , F r i t z . 1930. Bildkartor för skogsmätningar. Svenska Skogsvårdsföreningens tidskrift, 28 årg. Stockholm.
- D o c k , H a n s . Die »terrestrische« und »Luftstereophotogrammetrie« und ihre Bedeutung für die Forstwirtschaft. Centralblatt für das gesamte Forstwesen, 51 Jhrg. Wien u. Leipzig.
- F a b r i t i u s , B e r t e l . 1922. Flygmaskinen i skogbrukets tjänst. Metsätaloudellinen aikauskirja. — Forstlig tidskrift. 39 vuosik. Kuopio.
- v. G r u b e r , O. 1930. Ferienkurs in Photogrammetrie. Eine Sammlung von Vorträgen und Aufsätzen. Stuttgart.
- H a g b e r g , N i l s . 1933. Flygbilder och flygbildläsning. Referat: Fliegerbilder und Fliegerbildlesung. Die Stellung der Luftphotogrammetrie in Schweden. Svenska Skogsvårdsföreningens tidskrift, 31 årg. Stockholm.
- H a n s e n , H a l s k o v V. 1935. Fotogrammetrien i Skovbrugets Tjeneste. Dansk Skovforenings Tidsskrift, Bind XX. København.
- H e i l m a i e r , J. 1936. Über die Durchführung und Ergebnisse photogrammetrischer Geländeaufnahmen. Luftbild und Luftbildmessung, Nr. 10. Berlin.
- H i l f , H. H. 1923. Die Bedeutung des Luftbildes für die Forstwirtschaft. Forstliche Wochenschrift Silva, 11 Jhrg., Nr. 50. Tübingen.
- H u g e r s h o f f , R. 1923. Vorlesung zum deutschen Forstverein in Frankfurt a. O. 28. 8. 23. Forstliche Wochenschrift Silva, 11 Jhrg. Nr. 50. Tübingen.
- 1930. Photogrammetrie und Luftbildwesen. Handbuch der wissenschaftlichen und angewandten Photographie, Band VII. Wien.
- 1933 a. Gegenwärtiger Stand und Aussichten der Photogrammetrie als Hilfsmittel der Forstvermessung und Forsttaxation. Bildmessung und Luftbildwesen, 8. Jahrg., Nr. 1 u. 2. Liebenwerda.
- 1933 b. Die photogrammetrische Vorratsermittlung. Eine Übersicht über ihre Grundlagen und Methoden. Tharandter Forstliches Jahrbuch. Berlin.
- I l v e s s a l o , Y r j ö . 1920. Kasvu- ja tuottotaulut Suomen eteläpuoliskon mänty-, kuusi- ja koivumetsille. Acta forest. fenn. 15. 4. Helsinki.
- J a c o b s , M. R. 1932. Die Luftaufnahme im Dienste der Forsteinrichtung mit Vorschlägen zu ihrer Weiterentwicklung, insbesondere in unentwickelten Ländern. Mitteilungen aus dem Institut für ausländische und koloniale Forstwirtschaft an der Forstlichen Hochschule Tharandt. Dresden.
- K r u t z s c h . 1925. Das Luftbild im Dienste der Forsteinrichtung. Bericht über die Verwendung der Photographie aus Flugzeugen bei den Arbeiten des Staatl. Sächs. Forsteinrichtungsamtes in Bärenthoren im Sommer 1924. Tharandter Forstliches Jahrbuch, Band 76. Berlin.
- 1926. Das Flugzeug im Dienste der Forstwirtschaft. Allgemeine Forst- und Jagd-Zeitung, 102. Jhrg. Frankfurt a. M.
- K y t ö n e n , V e i k k o ja T u u r a , N i i l o . 1937. Ilmavalokuvaus metsätalouden palveluksessa. Metsätaloudellinen aikauskirja N:o 3. Helsinki.
- L i n d q u i s t , B e r t i l . 1931. Den skandinaviska bokskogens biologi. Svenska Skogsvårdsföreningens tidskrift, 29 årg., häfte 3. Stockholm.
- L ö f s t r ö m , K a r l . 1934. Suomalainen menetelmä ilmakameran ulkopuolisen orientoinnin suoraa määrittämistä varten. Maanmittaus, 9 vuosik. Helsinki.
- 1935. Ilmakuvakartoituskustannukset Suomessa. Maanmittaus, 10. vuosik. Helsinki.
- L ö n n r o t h , E r i k . 1927. Zur Frage der Waldbetriebsregelung mit besonderer Berücksichtigung der Waldverhältnisse Finnlands. Acta forest. fenn. 32. 1. Helsinki.
- M a r t t i , O. 1936. Ilmakuvakarttojen kiintopisteiden määrittäminen. Maanmittaus, 11 vuosik. Helsinki.
- N e u b a u e r , J o h a n n e s . 1936. Panchromatischer Fliegerfilm. Luftbild und Luftbildmessung, Nr. 10. Berlin.
- R e b e l . 1924. Forsteinrichtung mit Hilfe des Flugbildes. Allgemeine Forst- und Jagd-Zeitung, 100 Jhrg. Frankfurt a. M.
- 1926. Das Flugzeug im Dienste der Forstwirtschaft. Allgemeine Forst- und Jagd-Zeitung, 102. Jhrg. Frankfurt a. M.
- R i e f , A. 1936. Das Luftbild im Dienst der Forsteinrichtung (Taxation). Luftbild und Luftbildmessung, Nr. 10. Berlin.
- S t a m p , L. D u d l e y . 1925. The aerial survey of the Irawaddy delta forests (Burma). The Journal of Ecology, volum XIII. Cambridge.
- S c h w i d e f s k y , K. 1935. Fortschritte der Photogrammetrie in den letzten Jahren. Erweiterter Sonderdruck aus »Zeitschrift für Vermessungswesen«, Nr. 19 und 20. Jena.
- W e i s s k e r . 1927. Stand und Entwicklungsmöglichkeiten der forstlichen Luftbildauswertung. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, Nr. 8. Frankfurt. a. M.
- Z i e g e r , E r i c h . 1929. Ermittlung von Bestandesmassen aus Flugbildern mit Hilfe des Hugerhoff-Heydeschen Autokartographen. Mitteilungen aus der Sächsischen forstlichen Versuchsanstalt zu Tharandt. Berlin.

Über die Bedeutung der Luftfotogrammetrie in unserer Waldwirtschaft.

Einleitung. (S. 2—3)

Meine Darstellung über die Bedeutung der Luftfotogrammetrie für unsere Waldwirtschaft gründet sich auf mein Studium an der Technischen Hochschule, Dresden (Institut für Forstingenieurwesen und Luftbildmessung) im Sommer 1936 sowie auf die später von mir in Finnland unternommene Betrachtung der hiesigen Luftbilder. In besonderer Dankbarkeit bleibe ich Herrn Professor Dr.—Ing. H u g e r s h o f f, Tharandt, der freundlichst mir Gelegenheit in seinem Institut zu arbeiten gestattet hat und mich sogleich zu den forstlich interessantesten Problemen hineingeführt hat. Besten Dank auch Herrn Assistent K r e t s c h m a r, der so geschickt mich mit den vielen Instrumenten bekannt gemacht hat.

Die Bedeutung der Luftfotogrammetrie für die Waldwirtschaft stützt sich in erster Linie auf die mittels derselben auszuführende Kartierung von Waldgebieten und Taxation von Wäldern. Die zweckdienlichen Luftbilder liefern ausserdem ein schon an sich wertvolles geschichtliches Material über den Zustand der Wälder in bestimmter Zeit. — Auch lassen sich die Luftbilder bei der Erfüllung vieler technischen Aufgaben als Hilfsmittel benutzen.

Es kommt bei dieser Darstellung nicht darauf an, eine vollständige Beschreibung aller auf die Luftfotogrammetrie gegründeten Kartierungs- und Waldtaxationsverfahren zu geben, vielmehr soll nur kurz dargestellt werden, welche waldwirtschaftlich bedeutenden Charakteristika mit den besten Auswertungsmitteln aus möglichst zweckmässigen Luftbildern gewonnen werden können und welche Gesichtspunkte vom Standpunkt der Waldwirtschaft bei der Ausführung der Luftbildaufnahme zu berücksichtigen wären, soweit die Luftfotogrammetrie in Zukunft auch in Finnland stets zunehmende Verwendung finden sollte.

Die auf die Luftfotogrammetrie gegründete Kartierung. (S. 4—22)

Die Bevorzugung der Luftbildkartierung gründet sich in erster Linie auf ihre Arbeitsgeschwindigkeit und in den meisten Fällen zum mindesten auf die erwartete Kostenersparnis.

In Finnland hat sich die Luftbildkartierung auf das Entzerrungsverfahren beschränkt, eine Methode, die in Finnland seit 1927 unter Zugrundelegung der Horizontmessung entwickelt worden ist. Die Luftbildaufnahme geschieht im allgemeinen im Massstabe 1 : 20 000 unter Verwendung vollständiger 60 × 40 % Überdeckung.

Die Bedeutung der aus entzerrten Senkrechtbildern zusammengesetzten Luftbilder für die Waldwirtschaft stützt sich zur Hauptsache auf die unter Zugrundelegung derartiger Aufnahmen auszuführende Kartierung von Waldgeländen; auf diesem Wege können insbesondere die Hauptzüge der Karten gezeichnet oder geprüft werden— die Einzelheiten werden am besten mittels ursprünglicher, unentzerrter Bilder untersucht.

Bei unserem verhältnismässig ebenem Gelände führt das Entzerrungsverfahren zu befriedigenden Kartierungsergebnissen. Mit Rücksicht auf die Waldwirtschaft wäre der am besten geeignete Massstab für die Luftbildaufnahme in Süd-Finnland jedoch 1 : 10 000, während dagegen bei dem grosszügigen Gelände von Nord-Finnland 1 : 20 000 ausreicht.

Als Revierkarte ist die Luftbildkarte eines ganzen Reviers an der Wand der Kanzlei zwar ein interessantes Bild, aber ihre wahre waldwirtschaftliche Bedeutung ist dennoch nicht sehr gross; die Einzelheiten sind auf ihr im allgemeinen nicht deutlich zu erkennen (Massstab kleiner als 1 : 10 000), und auch die Übersichtlichkeit sowie insbesondere die Genauigkeit ist geringer als auf den üblichen Wirtschaftskarten.

Die besten Kartierungsergebnisse gewinnt man durch auf Stereo-Bilder begründete automatische Luftbildmessung. In Finnland gibt es jedoch vorläufig noch nicht die dazu erforderlichen automatischen Auswertungsgeräte, ebensowenig ist die mit ihrer Hilfe auszuführende Kartierung daher in Finnland nicht unternommen worden.

Die auf die Luftfotogrammetrie gestützte Waldtaxation. (S. 22-33)

Die eigentliche auf Luftbilder gegründete Waldtaxation lässt sich nur durch Stereo-Bilder überhaupt mit einigermaßen Genauigkeit durchführen. — An diese Luftschätzung hat man in Deutschland beträchtliche Erwartungen geknüpft, und auch in Finnland sind vorbereitende Untersuchungen über die Möglichkeiten dieser Art von Taxation ausgeführt worden.

— Hinsichtlich der deutschen Untersuchungen ist zu bemerken, dass die hiesige praktische Waldtaxation von der dortigen wesentlich abweicht. Die Deutschen legen bei ihren regelmässig gepflegten Kulturbeständen das Hauptgewicht auf die mathematischen Kubierungsfaktoren, während in Finnland dagegen ausserdem insbesondere biologische Gesichtspunkte hervorgehoben werden: der Waldtaxator hat bei uns den wirklichen waldbaulichen Zustand eines jeden Bestandes festzulegen und die Massnahmen darzustellen, die notwendig sind, um den Idealzustand des in Frage stehenden Standorts zu erreichen.

Die Holzartenverhältnisse des Bestandes, seine Stammzahl, Dichte sowie Mittel- und Oberhöhe lassen sich im allgemeinen nach zweckentsprechenden Stereo-Bildern mit befriedigender Genauigkeit ermitteln, ja sogar bei einheitlichen und regelmässigen Beständen ihr Alter und auch die Masse je Hektar. Unklar bleiben dagegen in den meisten Fällen der Waldtypus, die Brusthöhen durchmesserverteilung des Bestandes, etwaiger Unterwuchs sowie bei unregelmässigen Beständen Alter und Masse sowie vor allem jener für unsere Waldwirtschaft so wichtige waldbauliche Zustand des Bestandes.

— Bei unseren fast unregelmässigen Beständen fällt das Ergebnis der Lufttaxation somit ziemlich bescheiden aus. — Und an und für sich hat die Luftschätzung nicht einmal bei den regelmässigen, für eine derartige Taxation dennoch besser geeigneten Beständen Deutschlands keine weitere als versuchsweise Anwendung gefunden.

Gesichtspunkte über die Bedeutung der Luftfotogrammetrie in der Waldwirtschaft Finnlands. (S. 37-39)

Soweit die Luftbildaufnahme mit Rücksicht auf die Kartierung von Waldgebieten so ausgeführt wird, dass sie den gegenwärtig an unsere Waldkarten zu stellenden Forderungen entspricht und dass sie gleichzeitig auch einigermaßen ein Bild von den Wäldern selbst bietet, ist sie kein extensives Verfahren mehr, sondern ein intensives. Die Kosten steigen demgemäß beträchtlich, bleiben aber bedeutend geringer als die der terrestrisch ausgeführten Kartierungsarbeiten.

Was wiederum die Lufttaxation angeht, so ersetzt sie keineswegs die im Gelände auszuführende Waldtaxation, wenngleich diese durch jene vielseitig ergänzt wird. Diese Ergänzung ist jedoch — wenigstens vorläufig — nicht erforderlich und reicht daher nicht aus, lediglich in Anbetracht taxatorischer Gesichtspunkte für die Luftbildaufnahme einzutreten.

Die Luftbildaufnahme wird jedoch auch zu anderen als waldbaulichen Zwecken ausgeführt, z.B. bei Kartierungsarbeiten der Wehrmacht und des Landesvermessungsamtes. Auch die Waldwirtschaft kann aus diesen Arbeiten Nutzen ziehen; sie kann nach den ausgearbeiteten Luftbildkarten ihr eigenes Kartenwerk berichtigen und vervollständigen sowie von einzelnen Luftbildern für mannigfaltigste Verwendung geeignete Stereokartotheken zusammenstellen. — Es wäre gewiss wünschenswert, dass, soweit die Luftbildaufnahme auch in Finnland ständig an Bedeutung gewinnen wird, bei ihrer Ausführung sowohl hinsichtlich der Technik der Luftbildaufnahme als auch des bei der Photographie zu benutzenden Massstabes ebenfalls die Forderungen der Waldwirtschaft Berücksichtigung finden könnten.



Kuva 12. Suomalainen pystykuva (mittakaava 1 : 20 000, otettu 10. 6.—32 klo 11.15). Erilaisia maastolaatuja numeroitu: 1 = maantie, 2 ja 2' = kylätie, 3 = niitty, 4 = mänty- tai lehtimetsä, 5 = kuusimetsä, 6 = metsätie, 7 = metsälinja, 8 = yksinäinen koivu, 9 = metsälampi, 10 = lampi tai veden täyttämä notko, 11 = kostea uoma, jota pitkin pintavesi virtaa, 12 = hiekka- tai sorakuoppa metsässä, 13 = tiheä pensaikko, 14 = matala ja harva sekametsä, 15 = paljas (nähtävästi hakattu) kangas, 16 = taloryhmä, 17 = talo. — K. L ö f s t r ö m i n mukaan (Reserviupseerilehti v. 1935).

Publications of the Society of Forestry in Suomi:

ACTA FORESTALIA FENNICA. Contains scientific treatises dealing with forestry in Suomi (Finland) and its foundations. The volumes, which appear at irregular intervals, generally contain several treatises.

SILVA FENNICA. Contains essays and short investigations in the subject of forestry in Suomi. Published at irregular intervals. Each essay appears as a separate volume.

COMMENTATIONES FORESTALES. Contains investigations and other essays regarding forestry and other spheres connected with it in other countries than Suomi. Published at irregular intervals. Each volume generally contains only one treatise.

Die Veröffentlichungsreihen der Forstwissenschaftlichen Gesellschaft in Suomi:

ACTA FORESTALIA FENNICA. Enthalten wissenschaftliche Untersuchungen über die finnische Waldwirtschaft und ihre Grundlagen. Sie erscheinen in unregelmässigen Abständen in Bänden, von denen jeder im allgemeinen mehrere Untersuchungen enthält.

SILVA FENNICA. Diese Veröffentlichungsreihe enthält Aufsätze und kleinere Untersuchungen zur Waldwirtschaft Suomis (Finnlands). Sie erscheint in unregelmässigen Abständen. Jeder Aufsatz erscheint als besonderer Band.

COMMENTATIONES FORESTALES. Enthalten Untersuchungen und Beiträge zur Waldwirtschaft und damit zusammenhängenden Fragen für andere Länder als Suomi. Sie erscheinen in unregelmässigen Abständen. Jeder Band enthält im allgemeinen nur eine Untersuchung.

Publications de la Société forestière de Suomi:

ACTA FORESTALIA FENNICA. Contient des études scientifiques sur l'économie forestière en Suomi (Finlande) et sur ses bases. Paraît à intervalles irréguliers en volumes dont chacun contient en général plusieurs études.

SILVA FENNICA. Contient des articles et de petites études sur l'économie forestière de Suomi. Paraît à intervalles irréguliers. Chaque article constitue habituellement un volume.

COMMENTATIONES FORESTALES. Contient des études et des articles sur l'économie forestière et les branches connexes dans les pays autres que Suomi. Paraît à intervalles irréguliers. En général, chaque volume ne contient qu'une étude.

