

## Ilmakuvamittauksesta.

On measuring by aerial photography.

O l a v i L i n n a m i e s .

### *Ilmakuvamittauksen kehittymisestä.*

Ilmakuvauksen ja ilmakuvamittauksen<sup>1</sup> voidaan katsoa saaneen alkunsa jo vuosisadan vaihteen tienoilla, jolloin Itävallan sotilasmaantieteellisessä laitoksessa kehitettiin mm. ensimmäiset tarkoitukseen soveltuvat kartoitutus- ja oikaisukojeet. Kuvaus tapahtui leijoja tai kiintopalloja käyttäen. Pystykuvista kokoonpantu ilmakuvakartta valmistettiin ensi kerran Italiassa v. 1909.

Kuitenkin vasta ensimmäisen maailmansodan aika yhdessä lentokoneiden kehittymisen kanssa vei ilmakuvausta ja ilmakuvamittausta huomattavasti eteenpäin. Niinpä ilmakuvakartoitusten voitiinkin katsoa jo v. 1919 sivuuttaneen ensimmäisen varsinaisen kokeiluvaiheensa.

Johtavina maina ilmakuvamittauksen alalla olivat ennen toista maailmansotaa Saksa ja Sveitsi sekä osaksi Italia ja Ranska. Nykyisin ilmakuvauksen ja ilmakuvamittauksen on saavuttanut yli koko maapallon aivan ensiarvoisen tärkeän merkityksen varsinkin kaikessa kartoitustoiminnassa. Tarvittavien menetelmien ja laitteiden kehittämisessä näyttävät Englanti, USA ja Kanada viimeisten kymmenen vuoden aikana päässeen pitkälle, ja painopiste, ainakin mitä ilmakuvakartoitustoiminnan laajuuteen tulee, on siirtymässä viimeksi mainittuihin maihin.

Ruotsissa on ilmakuvausta käytetty vuodesta 1921 alkaen kartoitustöissä, aluksi kokeilun luontoisena. V. 1937 ryhdyttiin siellä uuden yhteisen, sisä-Norrlantia lukuun ottamatta vähitellen koko maan käsittäväksi laajenevan 1 : 10 000-mittakaavaiseen ilmakuvakarttaan (ns. »riksfotokarta») perustuvan taloudellisen kartan valmistamiseen.

S u o m e s s a ilmakuvaukseen aloitettiin ja kojeet sekä menetelmät kehitettiin alkuun puolustuslaitoksen toimesta tykistökenraali V. P. Nenosen johdolla. Varsinaiset kuvaustyöt pantiin käyntiin v. 1928 tarkoituksella jouduttaa erikoisesti kenttätykistömme kipeästi tarvitsemien topografikarttojen valmistusta. Kenraali Nenosen tarmokkaalla johdolla onnistuttiinkin sittemmin kehittämään aivan omintakeisia, meikäläisiin

---

<sup>1</sup> Ilmakuvamittaus yhdessä maakuvaamittauksen kanssa muodostaa kuvamittauksen eli *photogrammetria*n, jonka tehtävänä on määrätä valokuvatun kohteen mittasuhteet ja usein myös paikka avaruudessa yhden tai useamman valokuvan avulla.

olosuhteisiin sopivia uusia ilmakuvamittausmenetelmiä ja -kojeita, jotka yhä vieläkin ovat ilmakuvakartoitustoiminnassamme käytännössä.

V. 1936 perustettiin myös maanmittaushallitukseen ilmakehuvaosasto, joka alkoi työskennellä samojen menetelmien mukaisesti kuin puolustuslaitoksen topografinen osasto. Molempien näiden tehtävänä on yhteistoinnassa valmistaa ilmakehuvakarttoja, joita käytetään osaksi sellaisenaan pääasiassa valokuvavedoksina, osaksi taloudellisten ja topografisten karttojen pohjakarttoina. — Vuosina 1936—1947 oli maassamme ilmakehuvattu jo yhteensä noin 170 000 km<sup>2</sup> eli lähes 50 % koko pinta-alastamme.

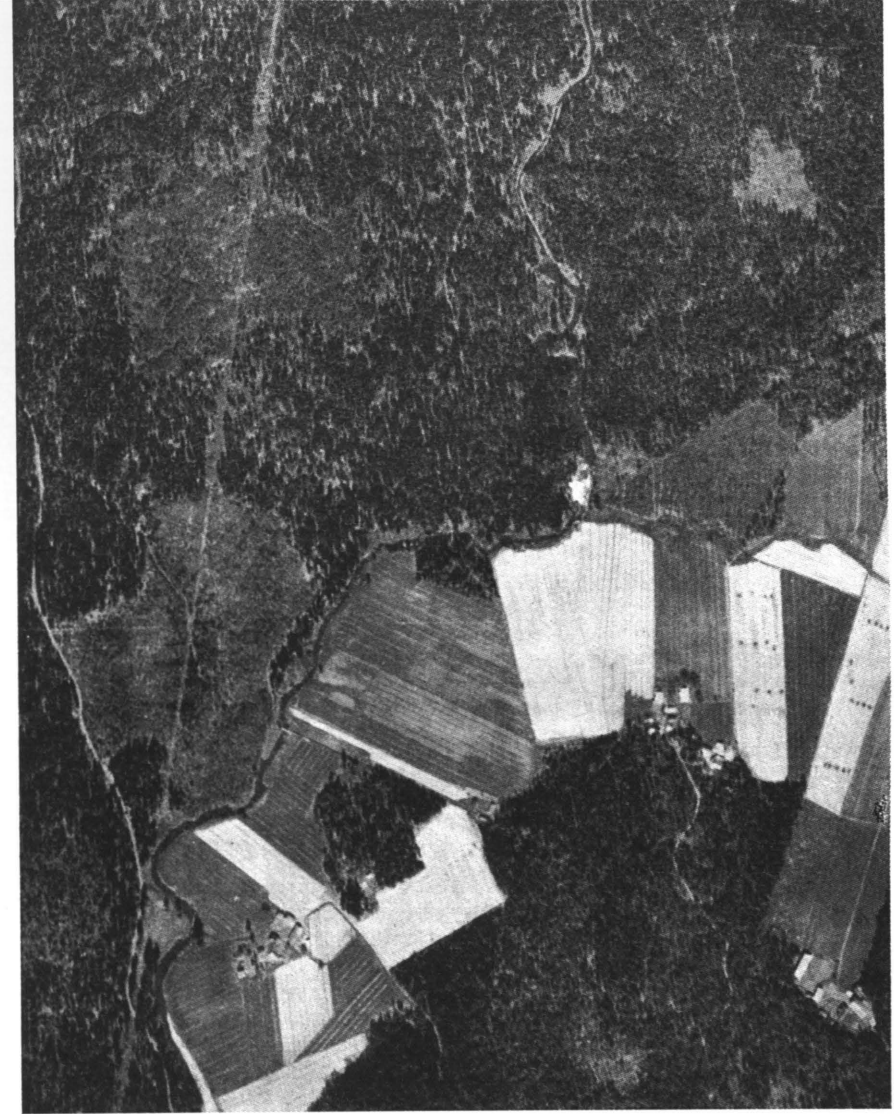
#### *Ilmakehuvauksen suorituksista.*

Ilmakehuvaus voi tapahtua yleensä joko pysty- tai viistokuvausena. Pystykuvauskuksessa kuvausfilmi on mahdollisimman tarkkaan kuvattavan maaston suuntainen (kameran akselin kallistuskulma pystysuoran suhteen on alle 10°), minkä johdosta maasto esiintyy kuvassa ja varsinkin sen keskiosassa (kuva 1) mahdollisimman oikeamuotoisena ja samalla myös yksityiskohdiltaankin varsin tarkkana pientenkin maastokohteiden tullessa näkyviin. Viistokuvien (kameran akselin kallistuskulma on pystysuoran suhteen 10—90°) mittakaava ja selvyys (= luettavuus) on kuvan (kuva 2) eri osissa hyvin vaihteleva, minkä johdosta ne soveltuvat huonosti suurempaa tarkkuutta vaativaan kuvamittaukseen. Siksi viistokuvia niiden paremmasta havainnollisuudesta huolimatta on eräitä tutkimuskuvauksia lukuun ottamatta varsin vähän käytetty.

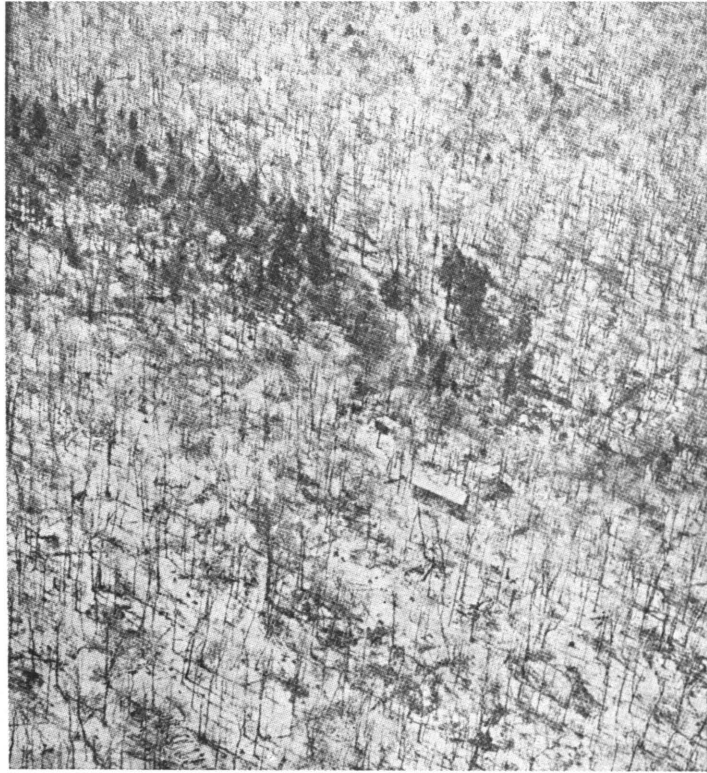
Ilmakehuvaus suoritetaan mieluummin keväällä, lehtipuiden juuri puhjettua lehteen, jolloin ne kuvissa erottuvat selvemmin havupuista. Koska puiden varjot helposti peittävät kaikki niihin sattuvat yksityiskohdat, kuvaus on suoritettu yleensä keskipäivällä, jolloin varjot ovat lyhyet. Onpa metsätaloudellista ilmakehuvausta varjostuksen vähentämiseksi sekä eri puulajien tuntemisen helpottamiseksi suoritettu puiden ollessa lehdettöminäkin, jopa lumen ollessa maassa. Taivaan tulee kuvauksen aikana olla pilvetön ja kirkas, sillä pilvien varjot ja ilman auer tekevät kuvat epäselviksi. Meillä Suomessa on kuvauskautena keskimäärin vain n. 10 täysin pilvetöntä päivää. Metsätaloudellista kuvausta suoritettaessa tulisi ilman myös olla tyyni, sillä tuulessa puut liikkuvat ja tulevat eri asennoissa perättäisten, toisiaan peittävien kuvaparien eri kuviin, minkä johdosta niiden ns. stereovaikutus häiriytyy ja korkeusmittauksen suoritus muodostuu virheelliseksi.

Koska kuvaus tapahtuu nopeasti liikkuvasta lentokoneesta, käytettävän valotusajan tulee olla varsin lyhyt. Tästä johtuen kuvaksien l. kuvausfilmien tulee olla erikoisen valonherkkiä, erityisesti suurille aaltopituuksille (vihreä, keltainen, punainen), jotka muodostavat maiseman päävärit.

Aluksi käytettiin kromihopeakuvaksia, jotka ovat kuitenkin herkkiä pääasiassa vain siniselle valolle, mutta nykyisin ovat kaikille väreille herkät pankromaattiset kuvakset yleisimmät. Värilaseilla eli suotimilla ehkäistään sininen heijastusvalo pääsemästä kuvakseen. Suuresta lentonopeudesta johtuva pieni valotusaika estää kuitenkin voimakkaiden suotimien käytön. Metsätaloudellisia tarpeita varten on myös suoritettu



Kuva 1. Mittakaavaan 1 : 8 000 suurennettu pystykuva. Kuvaus suoritettu normaalkameralla (c = 20,4 cm) mittakaavassa 1 : 20 000.

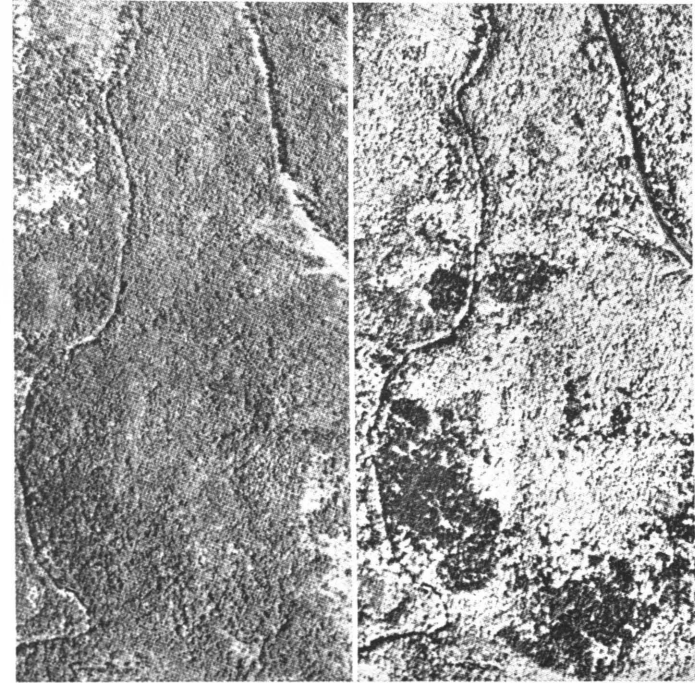


Kuva 2. Pankromaattiselle kuvakselle amerikkalaisesta lumen peittämästä metsämaastosta matalalta otettu viistokuva (Stephen H. Spurr: Aerial Photographs in Forestry. New York, 1948).

infra- (puna-)kuvauksia, koska lehtivihreä heijastaa voimakkaasti infräsäteitä ja lehtipuut tästä syystä erottuvat kuvasta vaaleampina selvemmin. Tällöin on kuitenkin huomattava, että infrafilmi säilyy käyttökelpoisena varastossa enintään 1–2 kuukautta.

Kuvauksen suorittavat meillä pääasiassa ilmavoimat, sillä tämä työ vaatii paitsi sopivia lentokoneita myös suurta taitoa ja tottumusta lentäjiltä. Käytettävällä lentokoneella tulee olla suuri lakikorkeus, alhainen matkanopeus ja vakava lento. Sopivimpia ovat kaksimoottoriset koneetyypit.

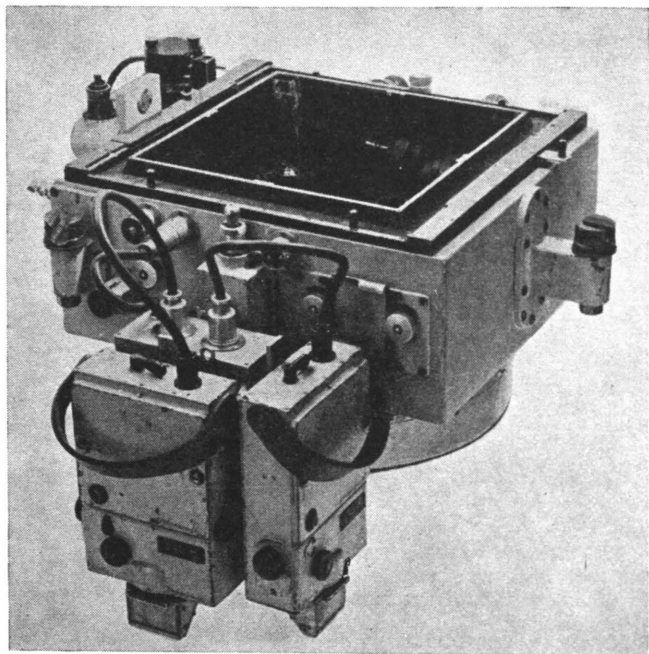
Valokuvaaminen tapahtuu tähän tarkoitukseen erikoisesti rakennetuilla mittakameroilla tavallisesti n. 4 000 (2 000–6 000) m:n korkeudelta. Meillä on nykyisin käytännössä vain Zeiss-Aerotopograph-kameroita, joista tavallisin tyyppi RMK HS 20/1818 on ns. normaalkamera. Sen kuvakulma (=  $2\alpha$ , ks. kuva 5) on n.  $60^\circ$ , kameravakio 1.



Kuva 3. Sama alue kuvattuna pankromaattisella (vas.) ja infrapunakuvaksella (oik.) (Walter Clark, Photography by infrared. New York, 1946).

polttoväli 20,4 cm, objektiivi Ortho-Metar 1 : 4,5 ja kuva-ala  $18 \times 18$  cm. Kameraan mahtuu 19 cm leveää filmiä kerrallaan 60 m ja voidaan sille ottaa n. 240 kuvaa. — RMK HS 20/3030 (kuva 4) on ns. laajakulmakamera. Sen kuvakulma ( $2\alpha$ ) on n.  $90^\circ$ , kameravakio samoin 20,4 cm, objektiivi Topogon 1 : 6,3 ja kuva-ala  $30 \times 30$  cm, joten se siis säästää kuvamateriaalia kuvatessaan kerralla suuremman alan. Kameraan mahtuu 32 cm leveää filmiä myös 60 m ja voidaan sille kuvata n. 180 kuvaa. Suuremmasta kuva-alasta johtuen laajakulmakuvaus tulee halvemmaksi kuin normaalikameralla suoritettu kuvaus, mutta samalla laajakulmakuvan geometrinen sisältö jonkin verran muuttuu, koska valonsäteet eivät pysy kuvattaessa ehdottoman suorina. Vaikka tämä virhe on pieni, se esim. myöhemmin esitettävässä stereomittauksessa vaikuttaa haitallisesti. Kun laajakulmakuvien laitaosien maastovirhe lisäksi on huomattava, laajakulmakuvaus tulee kysymykseen lähinnä ekstensiivisissä oloissa (meillä etupäässä Lapissa).

Mitä matalammalta kuvaus tapahtuu, sitä nopeammin liikkuu maiseman kuva kamerassa ja sitä pienempää valotusaikaa on tarpeen kuvan saamiseksi käytettävä. Toisaalta maiseman valovoima on kääntäen verrannolli-



Kuva 4. Zeiss-Aerotopographin v. 1939 rakentama laajakulmakamera RMK 20/3030, johon kotimaassa on rakennettu toinen horisonttilisäkamera ja kiintostatoskooppi (Löfström 1946).

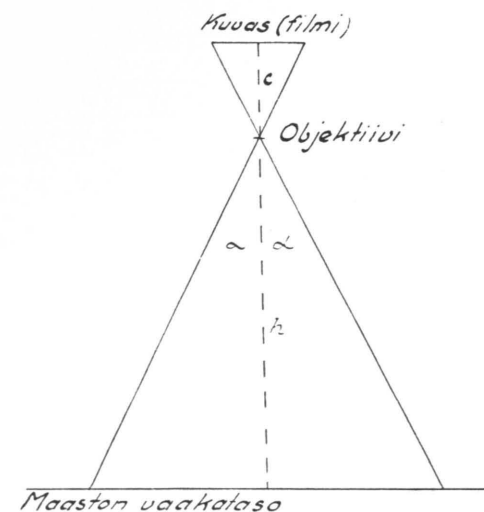
nen kuvauskorkeuden neliöön, minkä johdosta hyvin korkealta otetut kuvat eivät ole kyllin teräviä. Lisäksi ilmassa olevien epäpuhtauksien — noen, savun ja vesihöyryn — vaikutuksesta korkealta otettuihin kuviin muodostuu helposti ns. valohuntu.

Valitsemalla kameran kameravakio ja kuvauskorkeus sopiviksi, kuva saadaan syntymään haluttuun mittakaavaan. Pystykuvan mittakaava riippuu kuvauskorkeudesta ja kameravakiosta seuraavassa yksinkertaisessa suhteessa (kuva 5):

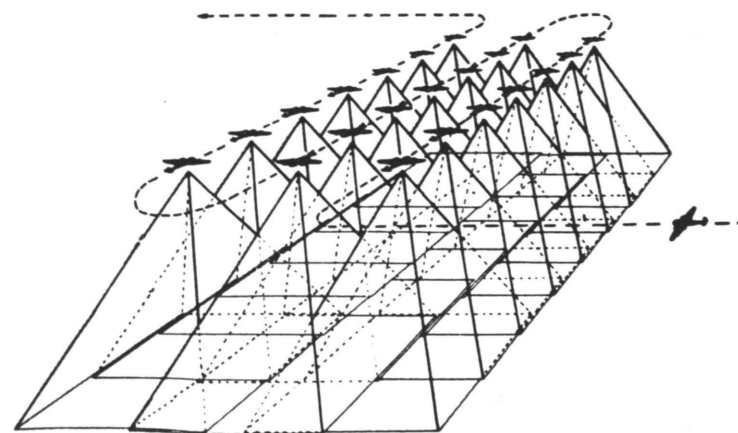
$$m = c : h,$$

jossa  $m$  = kuvan mittakaava,  $c$  = kameravakio ja  $h$  = kuvauskorkeus. Toisin sanoen kuvan mittakaava saadaan jakamalla kameravakion lukuarvo kuvauskorkeuden lukuarvolla. Kun esim. kameravakio on 20,4 cm, saadaan 4 080 m:n kuvauskorkeutta käyttäen syntymään pystykuva mittakaavassa 1 : 20 000.

Samalla kameralla kuvattaessa mittakaava on kääntäen verrannollinen kuvauskorkeuteen. Yksityisen ilmakuvan kuva-ala sen sijaan on suoraan verrannollinen kuvauskorkeuden neliöön, ja siis kustannukset jotain aluetta kuvattaessa yleensä kääntäen verrannolliset kuvauskorkeuden neliöön.



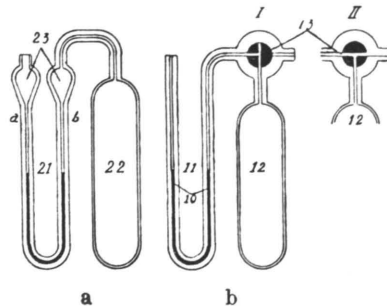
Kuva 5. Kuvausmittakaavan määrittäminen pystykuvauksessa.  $c$  = kameravakio eli polttoväli,  $h$  = kuvauskorkeus ja  $2\alpha$  = kuvauskulma.



Kuva 6. Kuvattava maasto peitetään vierekkäisillä toisiaan pituus- ja sivusuunnassa peittäävillä kuvajonoilla.

Niinpä kuvaus mittakaavaan 1 : 10 000 tulee noin neljä kertaa niin kalliiksi kuin mittakaavaan 1 : 20 000. Käytettävä kuvausmittakaava on siten riippuvainen kuvilta vaadittavasta tarkkuudesta ja selvydestä sekä toisaalta kuvaustyön taloudellisuudesta. Mitä pienempi on mittakaava, sitä pienempi on kuvakulutus ja työmäärä kuvamittauksessa ja sitä lyhyempi vastavasti lentoaika, mikä yksinään vaatii huomattavan osan ilmakuvaustyön kokonaiskustannuksista. Kun lisäksi muistetaan hyvien kuvaussäiden harvalukuisuus, on luonnollista, että kuvausmittakaava aina pyritään valitsemaan niin pieneksi kuin käyttötarkoitus sen suinkin sallii. Tavallinen kuvausmittakaava onkin meillä Suomessa ollut normaalikameralla kuvattaessa 1 : 20 000, joskin vähemmän tärkeitä alueita esim. Pohjois-Suomessa on kuitenkin kuvattu laajakulmakameralla myös mittakaavaan 1 : 40 000.

Kun yhteen kuvaan mahtuu vain rajoitettu alue, ilmakuvausta suoritettaessa joudutaan yleensä ottamaan useita kuvia. Kuvausta suorittava kone lentää kuvattavan alueen yli suoraviivaisesti yhdensuuntaisin — pääasiassa itä-länsisuuntaisin — jonoin ikäänkuin vakoja taivaalle kyntäen ja kuvia otetaan lentonopeudesta riippuen sopivin, keskimäärin noin parikymmenen sekunnin väliajoin siten, että muodostuu vierekkäisiä toisiaan peittäviä kuvajonoja yli koko kuvattavan alueen (kuva 6). Kuvat peittävät toisiaan sekä pituus- (perättäis-) että sivusuunnassa olleen kuvajonon pituuspeitto n. 60 % ja sivupeitto n. 40 %. Sama alue tulee siis esiintymään yleensä kahdessa perättäisessä kuvassa, joten saadaan myös syntymään jäljempänä mainittavat stereokuvaparit. Erikoisella professori V. Väisälän keksimällä ja valokuvausteknikko K. Ilm. Kotkavuoren täydentämällä korkeuseromittarilla eli statoskoopilla (kuva 7) lentokorkeus voidaan pitää mahdollisimman muuttumattomana ja kuvien mittakaava siten myös mahdollisimman tarkkana, sillä mittari näyttää jo 1–2 m:n muutokset lentokorkeudessa. Statoskoopilukema valokuvataan lisäksi kuvausfilmille, samoin lukema vesivaa'asta sekä kellosta, muistiolevystä ja kuvanumerosta (ks. kuva 11).



Kuva 7. a. V. 1944 kotimaassa rakennettu hanaton Kotka-statoskooppi. b. Aikaisempi hanallinen Väisälän statoskooppi. Nestemanometrin patsaiden (10) korkeusero osoittaa ulkoilman paineen vaihtelut ilmasäiliöissä (12,22) vallitsevan vertauspaineen suhteen niin tarkasti, että 1 mm:n ero patsaiden välillä vastaa yli 1 metriä lentokorkeudessa. Asennossa I statoskooppi on toiminnassa, asennossa II se on auki, jolloin vertauspaine pääsee säiliöön (Löfström 1946).



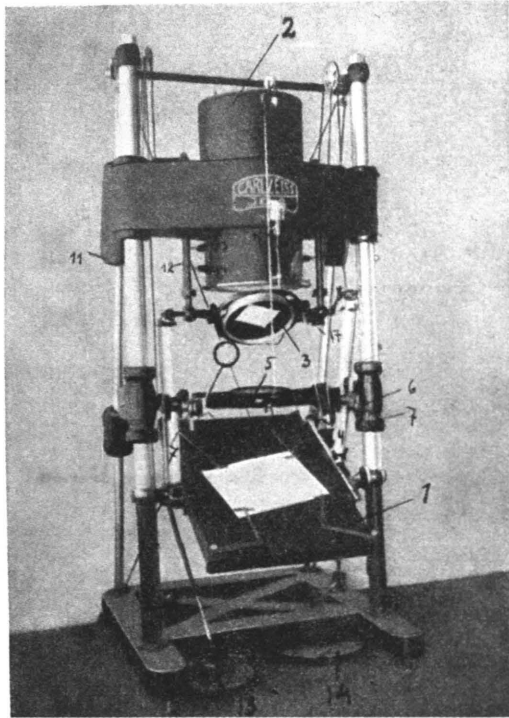
Kuva 8. Kuvarekisteri, joka osoittaa yhdellä lennolla peitetyn alueen ja josta ilmakuvien numerot ilmenevät. (Löfström 1946).

Kuvausnopeudesta voidaan mainita, että esim. nelituntisella kuvauslennolla saadaan mittakaavassa 1 : 20 000 normaalikameralla peitetyn alueen keskimäärin noin 600 km<sup>2</sup>:n suuruinen alue, jolloin kukin kuva käsittää 3,6 × 3,6 km, joskin sen hyötiala on vain noin 2 km<sup>2</sup>. Ns. »Lapin kolmio», n. 5 500 km<sup>2</sup>:n suuruinen alue Tornion—Aavasaksan—Rovaniemen välillä, kuvattiin mittakaavassa 1 : 40 000 laajakulmakameralla kuudessa tunnissa.

Kuvauksen suorituksen jälkeen filmit kehitetään ja niistä valmistetaan ensin ns. kuvarekisteri (kuva 8), josta näkyy mm., onko koko alue tullut kuvatuksi vai onko ehkä jäänyt paikattavia rakoja kuvajonon väliin.

#### Kuvien oikaiseminen ja kokoaminen kartaksi.

Kun lentokorkeus kuvattaessa ei käytännössä kuitenkaan pysy täysin muuttumattomana (vaan n. ± 50 m:n tarkkuudella oikeana) ja koska kameran asentokin, ts. sen kuvausakseli, lentokoneen kallistumisesta johtuen muuttuu, kuvat on ennen niiden käyttöä oikaistava, so. muutettava täsmälleen halutun mittakaavan mukaisiksi ikäänkuin ne olisi otettu tarkalleen oikealta korkeudelta ja pystysuuntaan maastoa vastaan. Tämä oikaiseminen suoritetaan tätä tarkoitusta varten rakennetuissa varsin nerok-

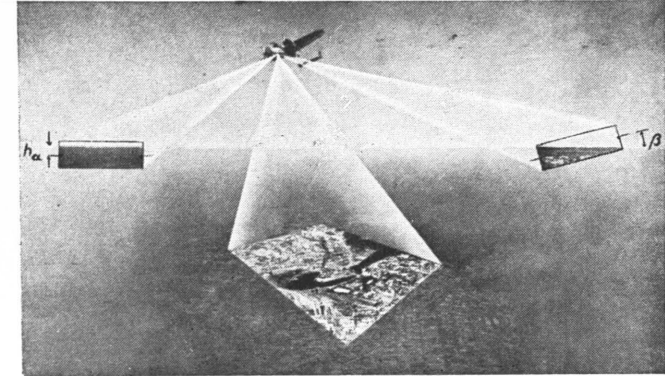


Kuva 9. Zeiss'in täysautomaattinen oikaisukojie SEG I, joka hankittiin Suomeen v. 1930 ja on vieläkin käytössä (Löfström 1946).

kaasti ja enemmän tai vähemmän automaattisesti toimivissa oikaisukoneissa (kuva 9), joissa oikaistava kuva kuvataan uudelleen.

Jotta oikaisu voitaisiin suorittaa, on ensinnäkin tunnettava kuvan kaltevuuskulma eli kuvakallistus maastoon nähden. Tämän määrääminen tapahtuu meillä käytännössä olevan menetelmän mukaan siten, että edellä esitetyllä tavalla maastosta otetun pystykuvan lisäksi kuvataan samanaikaisesti taivaanranta- eli horisonttiviiva kahdessa toisiaan vastaan kohtisuorassa suunnassa (kuvat 10 ja 11). Suorittaessa kuvausta n. 4 100 m:n korkeudelta näiden noin 300 km:n etäisyydestä kuvautuvien horisonttien avulla pystykuvan kuvakallistuksen suuruus ja suunta voidaan määrätä ja suorittaa oikaisu. Kun kuvaus nykyisin tapahtuu varsin vakavilla koneilla, kuvakallistuksen arvo käytännössä harvoin ylittää  $\pm 2\%$ . Alle  $1\%$ :n kallistusta voidaan kuvista tuskin silmin havaita ja hukkuu se yleensä jäljempänä esitettävään maastovirheeseen.

Paitsi kuvakallistusvirhettä oikaisemattomissa ilmakuvissa esiintyy virheellisestä lentokorkeudesta johtuen ns. mittakaava virhe.



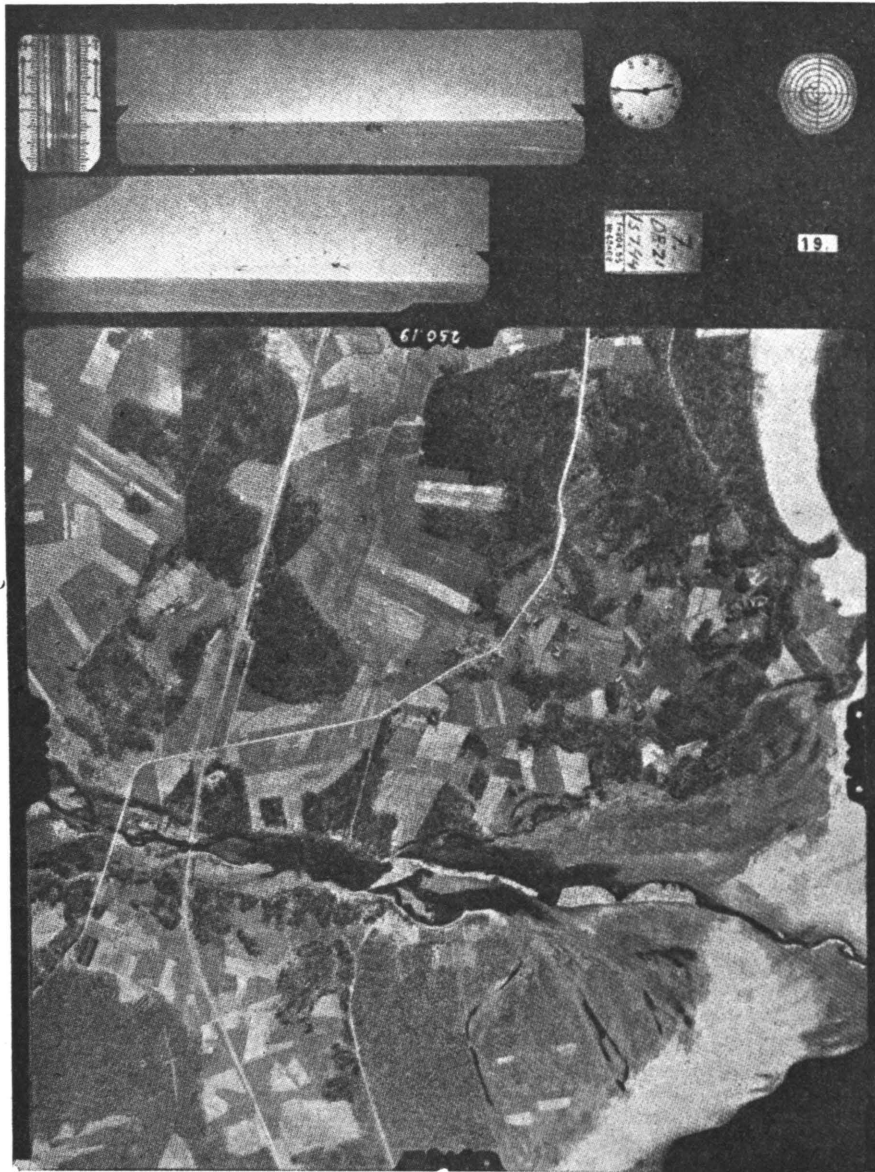
Kuva 10. Horisonttimittauksen periaate (Löfström 1946).

Tämän poistaminen tapahtuu erillisiltä ilmakuvilta yksinkertaisimmin soveltamalla amerikkalaisen Andersonin kehittämää »kaavapistemenetelmää». Mittakaavan tarkistamiseksi mitataan maastoon ns. kaavajanoja, joiden pituus määrätään myös oikaisemattomilta ilmakuvilta. Kun vielä kuvapaperin venymisestä tai kutistumisesta johtuva ns. paperikorjaus on otettu huomioon (mikä tapahtuu kuvia kopioitaessa kuvapaperin reunaan kuvautuvan mittakaava-asteikon perusteella), voidaan mittakaavan määräys suorittaa ns. oikaisupoletilla.

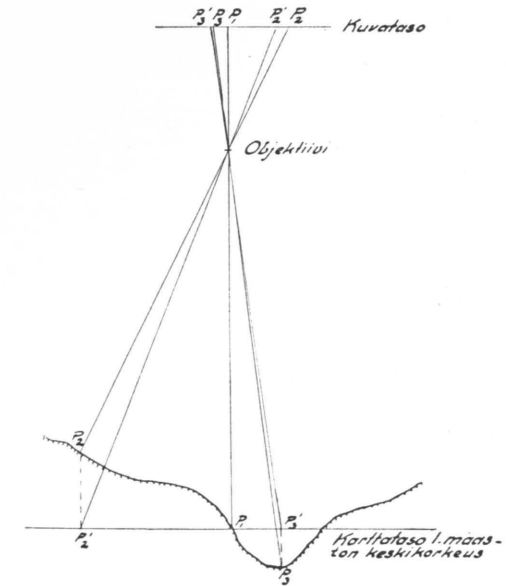
Kaavajanojen mittaus maastoon on ehkä ilmakuvalehtien valmistuksen esitöiden tärkein vaihe, sillä mitä enemmän ja mitä pitempiä kaavajanoja on käytettävissä, sitä tarkemmaksi saadaan ilmakuvalehtien mittakaava. Käytännössä tyydyttävään tulokseen päästään tasaisessa maastossa kuitenkin keskimäärin yhdellä 1.0–1.5 km:n pituisella kaavajanelalla joka toista ilmakuvalehteä kohden, kun kaavajanoja vain valitaan ao. lehtien maaston keskikorkeudelta sekä siten, että kullekin ilmakuvulle lankeaa vähintään yksi kaavajana. Kaavajanojen päätepisteiden valinnassa on välttämätöntä käyttää suurennusta, jotta ne saadaan virheettömästi määrättyiksi sekä kuvilla että maastossa.

Tämä kaavapistemenetelmä, jota meillä nykyisin käytetään erillisinä ilmakuvalehtiä valmistettaessa, on selostettu yksityiskohtaisesti Maanmittausinsinöörien liiton aikakauskirjassa n:o 1–2, 1950.

Mikäli oikaistut ilmakuvat halutaan koota laajemmaksi yhtenäiseksi ilmakuvakartaksi, on suoritettava tukipisteverkon mittaus, jolloin kuvattavaan maastoon kolmio- tai monikulmiomittauksella käytetään mitataan riittävästi tukipisteitä (1 : 10 000 ja 1 : 20 000 kuvattaessa keskimäärin 12–16 pistettä 100 km<sup>2</sup> kohden). Tällaisina tukipisteinä toimivat varsinaisesti kalkilla näkyviksi valkaistut kolmiomittauksien ja erikoiset puunlatvamerkkit, mutta niiden lisäksi käytetään apuna ilmakuvissa selvästi näkyviä jyrkkiä teiden, rajojen, ojen ym. risteyksiä, rakennuksien nurkkia, siltarumpuja yms., joiden koordinaatit määrätään maastossa



Kuva 11. Normaalikameralla RMK HS 20/1824 otettu ilmakuva  $18 \times 24$  cm, joka maastokuvan  $18 \times 18$  cm ohella käsittää kaksi kohtisuorasti toistensa suhteen otettua horisonttikuvaa sekä kuvat statoskooppi- ja vesivaakalukemasta, kellosta, muistiolevystä ja kuvanumerosta (Löfström 1946).



Kuva 12. Maastovirheen syntyminen epätasaista maastoa kuvattaessa. Karttatasossa oleva piste  $P_1$  projisoituu kuvalle oikein, mutta karttatason yläpuolella oleva piste  $P_2$  siirtyy kuvatasolla kuvakeskipisteestä ulospäin maastovirheen verran ja karttatason alapuolella oleva piste  $P_3$  siirtyy samoin maastovirheen verran kuvakeskipisteeseen päin.

murtoviivamittauksella. Näitä apupisteitä pyritään saamaan noin 1–2 km:n välimatkoin.

Koska ilmakuva ei ole pysty- vaan ns. keskusprojektio, kuvien laitoissa esiintyy aina ns. maastovirhettä (kuva 12). Varsinkin maastossa, missä korkeuden vaihtelut ovat suurehkot, tämä maastovirhe on huomattava. Osittain virhe pienenee, kun ilmakuvakarttaa kokoonpan- taessa yksityisistä kuvista käytetään vain tarkemmat keskiosat, mutta kokonaan sitä ei saada kuvista poistetuksi. Kuitenkin on valmiisiin ilma- kuvakarttoihin jäävä maastovirhe meikäläisissä oloissa, missä korkeuden vaihtelut eivät ole kovin suuria, siksi pieni, ettei sillä yleensä ole suurem- paa käytännöllistä merkitystä.

Oikaistu ilmakuva on jo sinänsä moniin tarkoituksiin varsin käyttö- kelpoinen, mutta yhtenäisen kuvan saamiseksi laajemmalla alueelta yksi- tyiset kuvat on koottava yhteen ns. ilmakuvakartaksi. Ilma- kuvakartan kokoonpano suoritetaan mittakaavassa 1:10 000 metallita- salla, jolle oikaistut kuvat sijoitetaan siten, että toiselta puolen mitatut tukipisteet lankeavat alustalle koordinaattiansa mukaan oikeille paikoil- leen ja toiselta puolen viereisten kuvien yksityiskohdat mahdollisimman hyvin yhtyvät. Tukipisteverkon konstruointi tapahtui meillä aikai- semmin yleensä geometrisesti piirtäen, mutta nykyisin käytetään ns. r a k o- listamennetelmällä suoritettavaa säteiskolmioimista. Kun koko

kuvien muodostama alue on ladottu tasolle, kuvista poistetaan tarpeettomat laitaosat niin, että lopuksi jää vain kunkin kuvan keskiosasta muodostettu yhtenäinen kuvakerros. Maastovirheiden johdosta kuva-osaumoihin mahdollisesti syntyviä virheitä ei tällöin pyritäkään kuvia venyttämällä tai muuten keinotekoisesti poistamaan, jotta kartan käyttäjä voisi kartan virheet havaita ja tarpeen tullen ottaa ne huomioon.

Ilmakuvakarttalehdet valmistetaan meillä  $5 \times 5$  km:n suuruisina täysien 5 km:n koordinaattiruutujen mukaan sekä mittakaavassa 1 : 10 000 (lehtikoko  $60 \times 60$  cm) että alkuperäisessä kuvausmittakaavassa 1 : 20 000 (lehtikoko  $30 \times 30$  cm).

Ilmakuvakartan tarkkuus riippuu mittakaavasta, tukipisteverkon tiheydestä ja maaston muodosta. Ilmakuvakarttojen 1 : 10 000 ja 1 : 20 000 keskivirheeksi on meillä käytännössä saatu  $\pm 7$  m edellyttäen, että maaston korkeusvaihtelut keskitasosta ovat noin  $\pm 30$  m ja tukipistetiheys 12–16 pistettä  $100 \text{ km}^2$  kohden. Kun korkeusvaihtelut ovat pienempiä, päästään samaan tarkkuuteen jo 6–8 pisteellä  $100 \text{ km}^2$  kohden. Ilmakuvakartan 1 : 4 000 keskivirhe on noin  $\pm 3$  m ja maksimivirhe alle  $\pm 10$  m, kun maaston korkeusvaihtelut ovat alle  $\pm 30$  m ja pistetiheys noin  $1/2$ –1 pistettä  $\text{km}^2$  kohden.

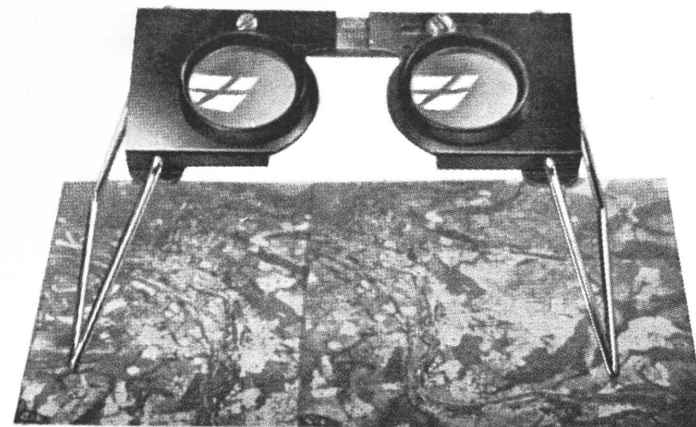
#### Stereokuvat.

Tarkastamalla kahta samasta maastosta otettua kuvaa siten, että toinen silmä näkee vain toisen ja toinen vain toisen kuvan, näemme maaston kolmiulotteisena avaruuskuvana eli tajuamme siitä myös syvyysvaikutuksen. Tätä ilmiötä nimitetään stereoskoopiksi näkemiseksi, ja sitä hyväksi käyttäen voidaan kuvapareista suorittaa jopa hyvin tarkkoja korkeuserojen mittauksiakin. Stereomittaus muodostaakin nykyisin varsin keskeisen osan ilmakuvamittauksesta.

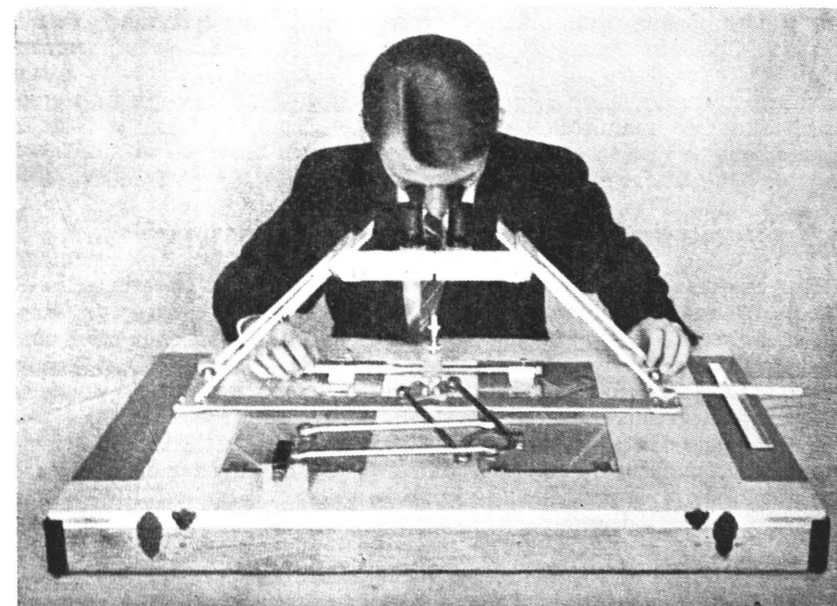
Ihmissilmän stereoskooppiinäkö- l. havaintokyvyn tarkkuus kykenee kilpailemaan hienimpien mittauskojeiden kanssa ja yksilöllisesti se riippuu toisaalta silmien näköterävyydestä ja toisaalta silmävälistä. Tästä syystä näkökykyä voidaan vahvistaa sekä suurentamalla keinotekoisesti silmäväliä l. kantaa että lisäämällä silmien näköterävyyttä suurennusta käyttäen. Molempia apukeinoja onkin yleensä käytetty niissä laitteissa, stereoskoopeissa (kuvat 13 ja 14), joita kuvaparien stereotarkastelun helpottamiseksi on rakennettu.

Näissä laitteissa tarkastellaan samanaikaisesti kahta samasta maastosta tai esineestä eri asemapisteistä otettua kuvaa (kuva 15) siten, että oikealla silmällä nähdään vain toinen (oikea) ja vasemmalla silmällä toinen (vasemmanpuoleinen) kuva. Tarkasteltavat kuvat eivät saa olla aivan samanlaisia, vaan niiden täytyy erota toisistaan niinkuin ne kuvat, jotka ihmissilmät esinettä katseltaessa näkevät. Kuvaparien vastinpisteiden tulee siis kuvia tarkasteltaessa asettua silmävälin etäisyydelle ja niiden yhdistyssuorien tulee olla yhdensuuntaisia. Kuvat on siis asetettava sopivalle etäisyydelle toisistaan ja keskenään yhdensuuntaisiksi. Tällöin katse- lija saa niistä myös syvyysvaikutuksen.

Usein stereolaitteisiin on rakennettu myös erikoisia kojeita, joilla kuvapareista nähtävien maastoesineiden korkeus voidaan mitata, jopa piirtää

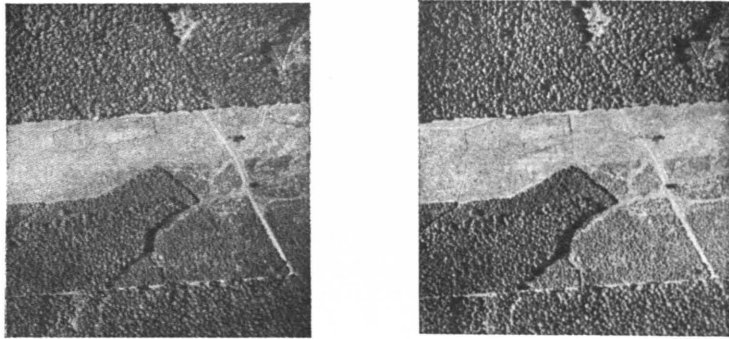


Kuva 13. Pocket-taskustereoskooppi (suur. 2 kert.).



Kuva 14. Kokoontaitettava peilistereoskooppi kiikareineen, piirustusstereometreineen (tarkastelijan oikeassa kädessä) ja yhdensuuntaiskuljettimieen asetettuna laatikkonsa piirustuslautana toimivalle kannelle. Piirustusstereometrin alla näkyvät stereo-kuvat; kartta piirtyy samaan mittakaavaan niiden väliin (Sarvas 1938).





Kuva 15. Stereokuvapari metsämaastosta, jossa eri-ikäisten metsikköjen rajat näkyvät jokseenkin selvinä. Mittakaava n. 1 : 10 000 (Sarvas 1938).

maaston korkeuskäyrätkin näkyviin. Yksinkertaisimpia välineitä pystykuvaparin stereomittoamiseksi on Zeiss'in tehtaan piirustusstereometrillä varustettu peilistereoskooppi sekä tästä kehitetty stereopantometri. Täydellisimpiä nykyisistä stereokartoituskojeista lie nee Zeiss-Aerotopograph-tehtaan valmistama ns. stereoplani grafi. Korkeusmittauksen keskivirhe on tällä koneella, jota Suomeenkin on hankittu kaksi kappaletta, esim. normaalikameralla 1 : 10 000-mittakaavassa otettuja ilmakuvia mitattaessa noin  $\pm 0,4$  m. — Muista stereokartoituskojeista mainittakoon vielä Aero-Multiplex ja Wild'in tehtaan autografi A 5 ja A 6.

#### *Ilmakuvien käytöstä ja ilmakuvakartoituskustannuksista.*

Ilmakuvakarttoja 1 : 20 000 ja 1 : 10 000 käytetään osittain sellaiseenaan ja pääasiassa valokuvavedoksina alueilta, joista muita sopivia karttoja ei ole valmiina. Suurin merkitys niillä kuitenkin meillä on siinä suhteessa, että ne nykyisin muodostavat kantakartan kaikelle maasamme samassa tai pienemmässä mittakaavassa suoritettavalle taloudelliselle ja topografiselle kartoitukselle eli ns. peruskartalle.

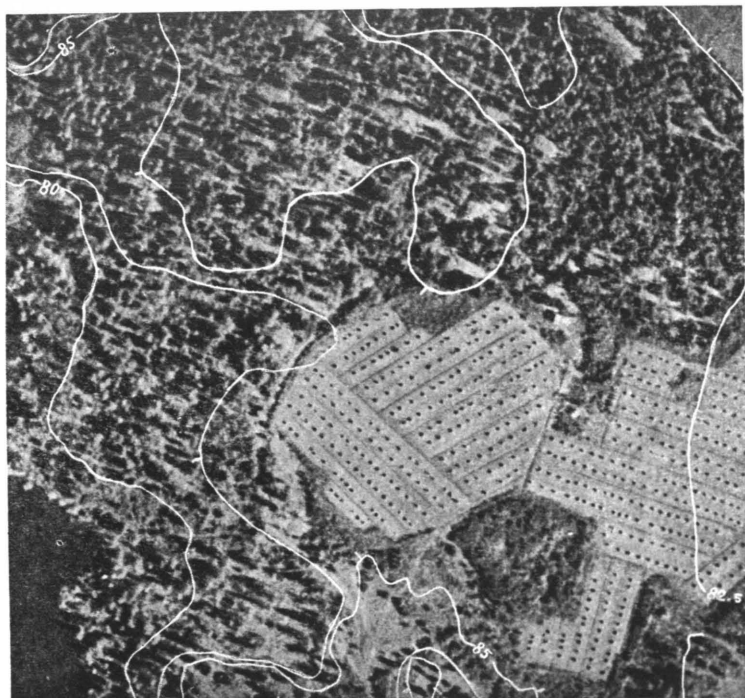
Tämän peruskartan valmistaminen tapahtuu siten, että kartoitettavan alueen mittakaavaan 1 : 10 000 valmistetuista ilmakuvakartoista otetaan ensin vedokset venymättömälle alumiinipaperille. Tälle kartoittaja sitten maastossa piirtää kartan mittakaavaan oikaistuja stereokuvapareja hyväksi käyttäen kaikki ne maastokuvat ja yksityiskohdat, jotka kartalla halutaan esittää (kuva 16). Topografista kartoitusta suorittaessaan kartoittaja mittaa maastossa lisäksi riittävän määrän korkeuspisteitä, merkitsee ne ilmakuvalle ja piirtää stereokuvien avulla korkeuskäyrät 5 m:n välein. Syntynyt kantapiirros piirretään sitten puhtaaksi piirustuskuultiolle kolmena kappaleena. Yhdelle kuultiolle piirretään vain pohjakuvat ja nimistö, toiselle tilojen rajat ja rekisterinumerot sekä kolmannelle korkeuskäyrät.



Kuvio 16. Kappale peruskarttaa kaavassa 1 : 10 000, ilmakuvakartta, pohjapiirros ja tilajaoituspiirros yhdessä kopioituina. Ilmakuvan selvyyys kärsii painatuksessa (Kajamaa 1949).

Näin puhtaaksi piirretyt kantapiirroksat pienennetään sen jälkeen valokuvauksellisesti mittakaavaan 1 : 20 000. Näistä pienennetyistä piirroksista valmistetaan kolme erilaista karttapainosta, ns. taloudellinen painos, jossa peruskuvioiden lisäksi on tilan rajat ja rekisterinumerot, ns. topografinen painos, jossa peruskuvioiden lisäksi on korkeuskäyrät, mutta josta tilajaoitus on jätetty pois, sekä yhdistetty taloudellis-topografinen painos eli siis täydellinen peruskartta, joka sisältää kaiken aineiston mittakaavassa 1 : 20 000. Etuna tällä järjestelmällä on se, että edellä mainituista mittakaavaan 1 : 10 000 tehdyistä kantapiirroksista (kuva 16) voidaan helposti valmistaa tässä mittakaavassa karttapohjat monenlaisia erikoistarkoituksia varten.

Suurimittakaavaisia ilmakuvakarttoja 1 : 4 000—1 : 10 000 tai pelkästään oikaistuja ilmakuvia on aivan viime vuosina ryhdytty yhä enenevässä määrin käyttämään mm. erilaisia rakennus- ja asutustoiminnan sekä myös kuntien veroluokituksen vaatimia kartoitustöitä suorittaessa. Ilmakuvamittauksen hyväksi käyttö onkin osoittautunut varsin edulliseksi keinoksi näiden tehtävien ratkaisemiseksi nopealla ja samalla taloudellisella tavalla.



Kuva 17. Ilmakuvasuurenus 1 : 4 000, joka on valmistettu mittakaavaan 1 : 25 000 otetusta normaalikameran kuvasta ja varustettu stereoplanigrafilla mitatuilla korkeuskäyrillä (Lofstrom 1946).

Käytännössä on osoittautunut, että mittakaavaan 1 : 20 000 otetuista normaalikameran filmeistä voidaan valmistaa terävyydeltään täysin tyydyttäviä suurennuksia 1 : 4 000, ovatpa suurennukset 1 : 2 000 vielä käyttökelpoisia. Moniin suunnittelutarkoituksiin riittää ilmakuva pohja sellaisenaan, tarpeen vaatiessa varustettuna stereoskooppisesti mitatuilla korkeuskäyrillä, jotka kopioidaan yhdessä ilmakuvanegatiivin kanssa niin, että ne esiintyvät kartassa valkeina (kuva 17), mutta stereokuvapareja tarkastelemalla saadaan lisäksi esille joukko sellaisiakin yksityiskohtia, jotka eivät ole muutoin havaittavissa.

Ilmakuva kartoituksen kustannukset jakaantuvat toiselta puolen ilma-kuvaus- ja toiselta puolen mittauskustannuksiin. Edelliset, joiden pääosan muodostavat varsinaiset lentokustannukset, ovat niin riippuvaisia erilaisista olosuhteista, kuten kuvattavan alueen suuruudesta ja etäisyydestä lentoasemalta, lentokoneiden ja kameroiden laadusta, lentäjien taitavuudesta, sääsuhteista ym., että täsmällisiä lukuja eri tapauksissa on vaikea esittää. Mittauskustannukset puolestaan jakaantuvat kaavajana- ja (tai) kiintopiste- sekä ilmakuva mittauskustannuksiin, jotka paitsi yleisestä

paikkatasosta samaten riippuvat monista eri seikoista, kuten maaston laadusta ja muodosta, halutusta tarkkuudesta, mittakaavasta ym. Seuraavassa esitetyt elokuuhun 1950 kohdistuvat numerotiedot ovatkin sen tähden vain likimääräisiä, mutta antavat kuitenkin käsityksen siitä, minkä suuruusluokan kustannuksista on kysymys.

Kuvaus normaalikameralla mittakaavaan 1 : 20 000 kuvattavan alueen ollessa n. 10 000 ha maksoi n. 7—9 : —/ha. Mittakaavaan 1 : 10 000 (lento- korkeus n. 2 000 m.) tapahtuva kuvaus n. 2. 500 ha:n suuruisella alueella tuli maksamaan n. 25—35 : —/ha. — Laajakulmakameralla mittakaavaan 1 : 40 000 suoritettu kuvaus maksoi n. 2 : 50—3 : —/ha (Lapissa).

Stereokuvina käytettävät kontaktikopiot 18 × 18 cm maksoivat 160 : —/kpl tilattaessa kuvia enemmän kuin 15 kpl.

Suurennukset kaavassa 1 : 10 000 (n. 36 × 36 cm) ennestään mittakaavassa 1 : 20 000 kuvatuista alueista maksoivat n. 900 : —/kpl (600 : —/kpl, jos tilaaja itse on kuvauttanut alueen).

Oikaistut suurennukset mittakaavassa 1 : 4 000 (n. 40 × 50 cm) maksoivat yksittäin tilattaessa 1 500 : —/kpl ja vähintään 10 kpl tilattaessa 700 : —/kpl.

Kaavajanan mittaus maksoi n. 1 200 : —/per jana (n. 300 ha kohden lasketaan tarvittavan yksi jana).

Kartan 1 : 50 000 geodeettisen pohjan valmistaminen säteiskolmiomalla lähtien n. 30—40 km:n välimatkoin mitatuista kolmiopisteistä tuli maksamaan n. 3 : —/ha (Lapissa).

Koska ilmakuva kartta monessa tapauksessa on vain välivaihe, ei sen aiheuttamia kustannuksia ja tuottamaa hyötyä ilman muuta voida verrata toisiinsa. Esim. topografisessa kartoituksessa saavutettava hyöty ilmeni jo ennen viimeisiä sotavuosia suoritetuista laskelmista, joiden mukaan topografisen kartan 1 : 20 000 valmistusnopeus tuli kaksinkertaiseksi samalla kun maastomittauksissa entiseen verraten saavutettiin niin suuri säästö, että koko ilmakuva kartan valmistuskustannukset tulivat peitettyiksi. Suoranaiseksi hyödyksi ilmakuva mittauksen käytöstä voidaan näin ollen tässä tapauksessa laskea kaksinkertainen kartoitusnopeus ilman lisäkustannuksia. Sen lisäksi jää koko vastaava ilmakuva-aineisto ilmaisena sivutuotteena muita erikoistarkoituksia — mm. metsätaloudellisia — varten käytettäväksi.

#### LUETTELO

#### KÄYTETYSTÄ KIRJALLISUUDESTA

- Ahla, Väinö. 1949. Maanmittaushallituksen kartastotöiden kehitys vuosina 1930—1947. Maanmittaus, n:o 3—4. Helsinki.
- Betenkande med utredning och förslag rörande rikets ekonomiska kartläggning och därmed sammanhängande organisationsspörsmål angående rikets landkartverk. Avgivet av utredningsmännen för verkställande av utredning rörande rikets ekonomiska kartläggning. Statens offentliga utredningar 1936 : 42, Jordbruksdepartement. Stockholm.

- Erola, V. 1946. Ilmakuvien käyttämisestä maanjakokartoituksessa. Maanmittaus, n:o 1—2. Helsinki.
- Fabritius, Bertel. 1921—1922. Flygmaskinen i skogsbrukets tjänst I—II. Metsätal. aikakk.—Forstl. tidskr. Helsinki ja Kuopio.
- Halonen, R. S. 1950. Ilmakuvakartoituksen kehityksestä maassamme. Maanmittausinsinöörien liiton aikakauskirja, n:o 1—2, Pori.
- Kajamaa, Mauno. 1949. Kartastöiden kehittämissuunnitelmista ja niiden toteuttamisen nykyisestä vaiheesta. Terra, n:o 1. Helsinki.
- Laurila, S. 1949. Eräs amerikkalainen menetelmä ilmakuvien oikaisuperusteitten määräämiseksi. Maanmittaus, n:o 3. Helsinki.
- Linnamies, Olavi. 1948. Metsämiehen karttaoppi. Yksityismetsänhoitajayhdistyksen oppikirjasarja, n:o 1. Helsinki.
- Lotila, Niilo. 1950. Ilmakuvamittaus. Koneella kirjoitettu.
- Löfström, K. 1946. Ilmakuvakartoitus Suomessa. Terra, n:o 3. Helsinki.
- 1947. Flygbildmätning för kartläggningssändamöl i Finland. 3:e Nordiska Ingenjörsmötets Förhandlingar 17: 19—22. Stockholm.
- 1949. Maa- ja ilmakuvamittaus. Teknillisen Korkeakoulun Moniste n:o 88. Helsinki.
- 1950. Ilmakuvat kenttämiehen kartoitusvälineenä. Maanmittausinsinöörien liiton aikakauskirja, n:o 1—2. Pori.
- Pajari, Risto (& Lehmus, Kalle). 1948. Ilmakuvakartoitus. Teoksessa »Suomea linnun silmin—Finland i fågelperspektiv». Helsinki.
- Sarvas, R. 1948. Ilmalokuvauksen merkityksestä metsätaloudessamme. Referat: über die Bedeutung der Luftfotogrammetrie in unserer Waldwirtschaft. Silva fennica 48. Helsinki.
- Schwidersky, K. 1950. Grundriss der Photogrammetrie. Vierte Auflage. Bielefeld.
- Segemark, Karl-Runo. 1949. Flygfotograferingssäsongen, några synpunkter med avseende på skugglängd och ljusbetingelser. Skogen, nr. 3. Stockholm.
- Spurr, Stephen H. 1948. Aerial photographs in forestry. New York.