

FOLIA FORESTALIA 132

METSÄNTUTKIMUSLAITOS · INSTITUTUM FORESTALE FENNIAE · HELSINKI 1971

SIMO POSO JA MATTI KUJALA

RYHMITETTY ILMAKUVA- JA MAASTO-
OTANTA INARIN, UTSJOEN JA ENONTEKIÖN
METSIEN INVENTOINNISSA

GROUPWISE SAMPLING BASED ON PHOTO
AND FIELD PLOTS IN FOREST INVENTORY
OF INARI, UTSJOKI AND ENONTEKIÖ

- N:ot 1—18 on lueteltu Folia Forestalia-sarjan julkaisuissa 1—41.
 Nos. 1—18 are listed in publications 1—41 of the Folia Forestalia series.
- N:ot 19—55 on lueteltu Folia Forestalia-sarjan julkaisuissa 19—96.
 Nos. 19—55 are listed in publications 19—96 of the Folia Forestalia series.
- 1969 No 56 Terho Huttunen: Länsi-Suomen havusahatukkien koko ja laatu vuonna 1966.
 The size and quality of coniferous sawlogs in western Finland in 1966. 1,50
- No 57 Metsäntutkimuslaitoksen päätös puutavaran mittauksessa käytettävistä muuntoluvuista ja kuutioimistaulukoista.
 Skogsforskningsinstitutets beslut beträffande omvandlingskoefficienterna och kuberings-tabellerna, som används vid virkesmätning. 28,80
- No 58 Paavo Tiihonen: Puutavaralajitaulukot 2. Maan eteläpuoliskon mänty, kuusi ja koivu.
- No 59 Paavo Tiihonen: Puutavaralajitaulukot 3 Männyn ja kuusen uudet paperipuutaulukot.
- No 60 Paavo Tiihonen: Puutavaralajitaulukot 4. Maan pohjoispuoliskon mänty ja kuusi. 2,—
- No 61 Matti Aitolahti ja Olavi Huikari: Metsäojien konekaivun vaikeusluokitus ja hinnoittelu.
 Classification of digging difficulty and pricing in forest ditching with light excavators.
- No 62 Kullervo Kuusela ja Alli Salovaara: Etelä-Pohjanmaan, Vaasan ja Keski-Pohjanmaan mestävarat vuonna 1968.
 Forest resources in the Forestry Board Districts of Etelä-Pohjanmaa, Vaasa and Keski-Pohjanmaa in 1968. 3,—
- No 63 Arno Uusvaara: Maan ja metsän omistus Suomessa v. 1965 alussa ja sen kehitys v. 1957—65.
 Land and forest ownerships in Finland 1965 and their development during 1957—65.
- No 64 Timo Kurkela: Haavanruosteen esiintymisestä Lapissa.
 Leaf rust on aspen in Finnish Lapland. 1,—
- No 65 Heikki Ravela: Metsärunko-ojien mitoitus.
 Dimensioning of forest main ditches. 1,50
- No 66 Matti Palo: Regression models for estimating solid wood content of roundwood lots.
- No 67 Terho Huttunen: Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase vuosina 1967—69.
 Wood consumption, total drain and forest balance in Finland in 1967—69. 2,50
- No 68 Lauri Heikinheimo, Seppo Paananen ja Hannu Vehviläinen: Stumpage and contract prices of pulpwood in Norway, Sweden and Finland in the felling seasons 1958/59—1968/69 and 1969/70. 2,50
- No 69 U. Rummukainen ja E. Tanskanen: Vesapistooli ja sen käyttö.
 A new brush-killing tool and its use. 1,—
- No 70 Metsätilastollinen vuosikirja 1968.
 Yearbook of forest statistics 1968. 6,—
- No 71 Paavo Tiihonen: Rinnankorkeusläpimittaan ja pituuteen perustuvat puutavaralajitaulukot.
- No 72 Olli Makkonen ja Pertti Harstela: Kirves- ja moottorisahakarsinta pinotavaran teossa.
 Delimiting by axe and power saw in making of cordwood. 2,50
- No 73 Pentti Koivulehto: Juurakoiden maasta irrottamisesta.
 On the extraction of stumps and roots. 1,50
- No 74 Pertti Mikkola: Metsähukkapaun osuus hakkuupoistumasta Etelä-Suomessa.
 Proportion of wastewood in the total cut in southern Finland. 1,50
- No 75 Eero Paavilainen: Tutkimuksia levitysjankohdan vaikutuksesta nopealiukoisten lannoitteiden aiheuttamiin kasvureaktioihin suometsissä.
 Influence of the time of application of fast-dissolving fertilizers on the response of trees growing on peat. 2,—
- 1970 No 76 Ukko Rummukainen: Tukkimiehentäin, *Hylobius abietis* L., ennakkotorjunnasta taimitarhassa.
 On the prevention of *Hylobius abietis* L. in the nursery. 1,50
- No 77 Eero Paavilainen: Koetuloksia suopeltojen metsittämisestä.
 Experimental results of the afforestation of swampy fields. 2,—
- No 78 Veikko Koskela: Havaintoja kuusen, männyn, rauduskoivun ja siperialaisen lehtikuusen halla- ja pakkaskuivumisvaurioista Kivisuon metsänlannoituskoekentällä.
 On the occurrence of various frost damages on Norway spruce, Scots pine, silver birch and Siberian larch in the forest fertilization experimental area at Kivisuo. 2,—
- No 79 Olavi Huikari—Pertti Juvonen: Työmenekki metsäojituksessa.
 On the work input in forest draining operations. 1,50
- No 80 Pertti Harstela: Kasausajan ja valtimonyöntitiheyden sekä tehollisen sahausajan määrittäminen järjestettyjen kokeiden, pulssitutkimuksen ja frekvenssianalyysin avulla.
 Determination of pulse repetition frequency and effective sawing time with set tests pulse study and frequency analysis. 1,50
- No 81 Sulo Väänänen: Yksityismetsien kantohinnat hakkuuvuonna 1968—69.
 Stumpage prices in private forests during cutting season 1968—69. 1,—
- No 82 Olavi Huuri, Kaarlo Kytökorpi, Matti Leikola, Jyrki Raulo ja Pentti K. Räsänen: Tutkimuksia taimityppiluoituksen laatimista varten. I Vuonna 1967 metsänviljelyyn käytettyjen taimien morfologiset ominaisuudet
 Investigations on the basis for grading nursery stock. I The morphological characteristics of seedlings used for planting in the year 1967. 1,50

Simo Poso ja Matti Kujala

RYHMITETTY ILMAKUVA- JA MAASTO-OTANTA INARIN, UTSJOEN
JA ENONTEKIÖN METSIEN INVENTOINNISSAGroupwise sampling based on photo and field plots in forest inventory
of Inari, Utsjoki, and Enontekiö

ALKUSANAT

Valtakunnan metsien V inventoinnin kenttätöön suorituksen aikana 1964–1970 aloitettiin metsänarvioimisen tutkimusosastossa maat. ja metsät.lis. SIMO POSON johdolla tutkimus tavoitteena kehittää Suomen metsäluonnon ja metsätietojen tarpeen olosuhteisiin sopiva, ilmakuvia mahdollisimman paljon hyväksi käyttävä metsänarvioimismenetelmä. Tutkimuksen edistyessä näytti tarpeelliselta kokeilla sanottua menetelmää riittävän suuren alueen käsittävässä todellisessa inventointitehtävässä. Kokeen kohteeksi valittiin ensiksi Laanilan 17 000 ha:n kokeilualue ja sen jälkeen metsä- ja metsätalouden olosuhteiltaan sopivalta näyttävä Inarin, Utsjoen ja Enontekiön kunnan alue. Tavoitteeksi asetettiin, että koeinventoinnin tulokset tulisi liittää V inventoinnin yleisiin, Lapin piirimetsälautakuntaa koskeviin tuloksiin.

Kokeilu onnistui V inventoinnin ja menetelmätutkimuksen yhdistelmänä hyvin. Se on siten esimerkki mahdollisuudesta yhdistää selviin käytännön tavoitteisiin tähtäävä toiminta ja menetelmätutkimus taloudellisesti edulliseksi kokonaisuudeksi.

Kuten edellä on jo ilmennyt, koeinventoin-

nin on suunnitellut ja johtanut lis. Poso, joka vastaa myös työn kirjallisesta esittämisestä ja luotettavuuslaskennoista. Inventoinnin toteuttamista voidaan pitää esimerkkinä hyvin onnistuneesta projektityöstä. Laskennan suunnittelu on tehty metsäteknikko MATTI KUJALAN ja Poson yhteistyönä. Tietokoneohjelmoinnista ja tulosten laskennasta vastasi Kujala. Suurta apua tulostusohjelmoinnissa antoi metsänhoitaja ILKKA KOHMO. Testiohjelmointiin osallistui metsänhoitaja RAIMO PÖKÄLÄ, satunnaislukuihin perustuvista otannoista huolehti taas luonn. kand. JUHA PURANEN. Kuvatulkintojen ja maastoaineistojen toimistokäsittelystä vastasi suurelta osalta metsänhoitaja ARNO UUSVAA-RA ja rva ELLI PAKKANEN.

Metsänhoitaja TARMO UUSITALO ja Uusvaara suorittivat tarvittavat kuvatulkinnat. Maastotyön ryhmänjohtajina olivat Poso ja Uusvaara.

Julkaisun painoasuun saattamiseen ovat osallistuneet rva ANJA LESKINEN konekirjoituksen osalta ja rouvat SINIKKA HIETALA ja RIITTA TARRI kuvien piirtämisen osalta.

Helsinki, marraskuussa 1971.

Kullervo Kuusela

TIIVISTELMÄ

Valtakunnan metsien V inventointi suoritettiin Inarin, Utsjoen ja Enontekiön osalta vuonna 1970 uudentyypistä ilmakuvatulkintaan ja kaksivaiheiseen otantaan perustuvaa menetelmää käyttäen. Ensimmäisessä vaiheessa ilmakuvilta tulkitut ryväskoealat ryhmitettiin kaikkien tärkeinä pidettyjen kuvatulkitulosten suhteen mahdollisimman homogeenisiin ryhmiin. Joka ryhmästä valittiin toisen vaiheen otokseen yksi maastoryvä, jolle maastotyön perusteella saatiin itsenäiset puusto- ja kasvu- paikkatiedot. Nämä tiedot laajennettiin koskemaan kaikkia kyseisen ryhmän ilmakuvilta tulkittuja rypäitä. Menettelyn perusteella ilmakuvilta tulkitut rypäät saivat muodollisesti täydelliset tiedot, jotka voitiin syöttää magneettinauhalle tulostuslaskennan perusaineistoksi. Menetelmä voitiin todeta sekä laskennallisesti että töiden järjestelyn suhteen erittäin joustavaksi. Menetelmää soveltamalla inventointikustannukset olivat arviolta 25 % pienemmät verrattuna siihen, että olisi sovellettu lohkoittaista otantaa kuten muualla Lapissa. Menetelmän tehokkuudesta lohkoittaiseen otantaan verrattuna ei kuitenkaan voida tehdä pitkälle meneviä päätelmiä, koska tulosten tarkkuuksia ei ole vertailtu.

ABSTRACT

The Fifth National Inventory in northernmost Finland (c. 3 mill. hectares) was undertaken in 1970 by applying aerial photo-interpretation in a frame of a new type of double sampling methodology. The plots interpreted from aerial photographs were grouped into homogeneous groups according to all photo-interpreted values. For the second phase sample, one plot was selected from each group to be measured in the field. The data applicable in final computations was worked out for each field plot. The data of one field plot was then transferred to all photo-interpreted plots belonging to the same group. This procedure resulted in all photo plots being supplied with formally complete data. The data was put on a magnetic tape to give the material for final calculations. The method applied proved to be very flexible as related to arrangement of field work and computation of various kind of results. The application of the method gave a saving of about 25 per cent compared with the costs of the method applied elsewhere in Lapland. Conclusions about the relative efficiency of the methods could not be made because no precision comparisons were included in the study.

SISÄLLYSLUETTELO

	Sivu
I ALKUSANAT	1
II TIIVISTELMÄ – ABSTRACT	2
1. JOHDANTO	4
2. RYHMITYSMENETELMÄN KUVAUS	6
3. RYHMITYSMENETELMÄN SOVELTAMINEN INVENTOINTIALUEELLA	7
31. Alue	7
32. Ilmakuvat ja näyteyksiköt	7
33. Rypäiden tulkinta ilmakuvilta	9
34. Ryhmitys ja maastossa mitattavien rypäiden valinta	9
35. Maastorypään paikallistaminen ja mittaus	12
36. Maastotietojen täydentäminen ja tarkistukset	16
37. Ryväskohtaisten maastotulosten laskenta	16
38. Tulostusnauhan muodostaminen	18
39. Tulosten laskenta	18
4. INVENTOINTITULOKSET	19
5. TULOsten LUOTETTAVUUS	21
51. Kuvatulkinnan ja maastomittausten vastaavuus	21
52. Rypäiden paikallistaminen, säteettäissiirtymä ja koepuiden kuutiointi	21
53. Otantavirheet	23
54. Vertailu III inventoinnin tuloksiin	30
55. Yleisiä näkökohtia	32
6. LOPPUPÄÄTELMÄT	34
KIRJALLISUUSLUETTELO	36
SUMMARY	37

1. JOHDANTO

Toisen maailmansodan aikana ilmakuvatekniikassa tapahtui huomattavaa kehitystä. Ilmakuvaustoiminta tuli yleiseksi myös Suomessa, jonka metsätaloudessa kuvia alettiin käyttää metsäkartojen tekoon. Nykyään metsäkartoituksen suunnittelu- ja pohjamateriaalina käytetään ilmakuvia yleisesti ja niiden ohella jonkin verran myös peruskarttaa ja muita olemassa olevia karttoja.

Pohjoismaissa on ollut huomattavaa kiinnostusta ilmakuvien hyväksikäyttämiseen myös metsiköittäisissä arvioinneissa ja laaja-alaisissa metsien inventointitehtävissä. Aluksi suurin mielenkiinto kohdistui siihen, miten eri puu- ja metsikkötunnuksia pystytään tulkitsemaan erilaisilta ilmakuvilta. Tätä alaa ovat Suomessa tutkineet mm. ILVESSALO (1950), NYSSÖNEN (1955), NYSSÖNEN & POSO (1962), NYSSÖNEN & POSO & KEIL (1968) ja POSO & KEIL & HONKANEN (1968). Ruotsissa vastaavanlaisia tutkimuksia ovat tehneet mm. TÖRNSTRÖM (1960), SANDBERG (1961, 1963) ja AXELSSON & MÖLLER (1962).

Edellä viitattujen tutkimusten perusteella on pääteltävissä, että kuvatulkinnat ovat suhteellisesti luotettavimpia eri maaluokkien erottelussa toisistaan. Käytettäessä 1:20 000–1:30 000 mittakaavaisia kuvia on keskivirhe puun pituuden arvioinnissa (parallaksimittausta apuna käyttäen) noin $\pm (1.5-3.5 \text{ m})$ ja kuutiomäärän arvioinnissa noin $\pm 30 \%$ metsikön keskikuu-
tioista. Puulajin tulkinnan tarkkuus riippuu huomattavasti kuvamateriaalista ja kuvauksen ajankohdasta. Kasvupaikan laadun ja kehitysluokan kohdalla vallitsee huomattavaa korrelaatiota ilmakuva- ja maastohavaintojen kesken, mutta pieniä poikkeamia esiintyy runsaasti. Tämä johtuu osittain siitäkin, että kyseiset luokat ovat usein maastossakin vaikeasti ja epävarmasti määritettävissä.

Metsien inventointeihin ilmakuvatulkintaa on käytetty varsin vähän Pohjoismaissa. Ruotsissa eräät yksityiset metsätaloussuunnitelmia urakoivat yritykset ovat soveltaneet kuvatulkintaa kyllä melko yleisesti, mutta niiden merkitys kokonaisuudessa on vähäinen. Yritysten käyt-

tämä menetelmä perustuu ilmakuville paikallistettujen koealojen luokitukseen ja luokkakohdainten tulosten laskentaan maastossa mitattujen koealojen avulla. Tämän luokitukseen perustuvan kaksivaiheisen menetelmän toi metsätalouden käyttöön BICKFORD (1952). Menetelmän tilastolliset perusteet on löydettävissä mm. COCHRANIN (1963, s. 327–334) kirjasta. Suomessa kyseistä menetelmää ovat kokeilleet NYSSÖNEN et al. (1968). Se on saanut erittäin laajaa käyttöä Pohjois-Amerikassa ja monien kehitysmaiden metsien inventoinneissa.

Syitä kuvatulkinnan vähäiseen käyttöön metsän inventointien yhteydessä Pohjoismaissa lie-
nee useita, joista tässä esitetään kaksi. Ensiksi, Pohjoismaissa metsien inventoinnit on aloitettu siinä vaiheessa (1920-luvulla), jolloin ilmakuvien käyttö ei tullut kysymykseen. Tavallisesti inventoinnit on suoritettu systemaattisesti sijoitetulla maasto-otannalla (esim. kaikki pohjoismaiset valtakunnalliset metsien inventoinnit). Nämä menetelmät on kehitetty pitkälle ja niiden soveltamiseksi on käytössä ammattitaitoista työvoimaa. Siirtyminen tällaisesta tyydyttävästi toimivasta menetelmästä toiseen vaatisi, että uusi menetelmä olisi entistä huomattavasti parempi, sillä paremmuudestaan huolimatta menetelmästä toiseen siirtyminen henkilökunnan kouluttamisineen voi merkitä joksikin aikaa ylimääräisiä kustannuksia.

Toiseksi kuvatulkinnalla suoritettava luokitus osana kaksivaiheista otantaa on todettu selvästi edulliseksi vain maaluokkien erottelussa ja kokonaisuutien inventoinnissa (esim. NYSSÖNEN et al. 1968, s. 31). Metsämaan keski-
kuution suhteen ollaan vielä epävarmoja, mutta muiden metsämaan sisäisten tunnusten inventointiin ilmakuvien käyttö on tavallisesti todettu epäedulliseksi. Kun Pohjoismaissa pannaan huomattavan paljon painoa metsämaan sisäisten tunnusten (kasvupaikka- ja kehitysluokkien ja puuston järeys- ja ikäsuhteitten) arvioimiseen, ei kuvatulkinnan käyttöä ole katsottu taloudelliseksi.

Ilmakuvatulkintaa soveltavien metsien inventointimenetelmien voidaan ennustaa lisääntyvän

huomattavasti useastakin syystä myös Pohjoismaissa. Ilmakuvien tulkintakelpoisuus kasvaa niiden teknillisen laadun paranemisen mukana, niiden käyttöä koskevaa koulutusta lisätään, kuvaustoiminta tulee yhä säännöllisemmin toistuvaksi, tutkimus ja kokemus paljastavat uusia mahdollisuuksia ja metsätalouden suunnittelussa opitaan entistä paremmin operoimaan tunnuksilla, jotka ovat ilmakuvia soveltavilla menetelmillä parhaiten arvioitavissa. Toisaalta palkat nousevat, joten siirtyminen vähemmän ihmistyötä vaativiin menetelmiin tulee edullisemmaksi. Lisäksi inventointeja toistettaessa on mahdollista käyttää hyväksi aikaisemmin suoritettuja inventointeja (ks. esim. BICKFORD & MAYER & WARE 1963 ja NYSSÖNEN 1967), jolloin kuvatulkinna käyttöön perustavilla menetelmillä tavallisesti vaikeasti luokiteltavat pinta-alaositteet voidaan inventoida huomattavasti tarkemmin. Esimerkiksi kasvupaikan laatu ei peräkkäisten inventointien välisenä aikana voi paljon muuttua. Tällöin edellisen inventoinnin maastohavainnot voidaan tältä osin pitää lähes uuden inventoinnin maastohavainnot arvoisina.

Niin kauan kuin ilmakuvatulkintoja ei sellaisinaan voida pitää riittävän luotettavina, kuvatulkinnot käyttöön täytyy perustaa kaksi- tai useampivaiheiseen otantaan. Tämä merkitsee, että ilmakuvilta tulkitaan suhteellisen monia kohteita, joista vain osa käydään tarkistamassa maastossa. Kuvatulkinnan käyttö voi olla sitä edullisempaa mitä suurempi korrelaatio vallitsee ilmakuvilta tulkittujen ja maastossa mitattujen vastintunnusten kesken ja mitä pienempiä ilmakuvien hankinnasta ja kuvatulkinnasta aiheutuvat kustannukset ovat.

Tähän mennessä eniten sovellettuun ilmakuville paikallistettujen kohteiden luokittamiseen perustuvaan kaksivaiheiseen otantamenetelmään (double sampling for stratification, ks. COCHRAN 1963, s. 327–334) on pohjoismaisten inventointitavoitteiden kannalta tarkasteltuna esitettävissä itse menetelmään liittyvää kritiikkiä. Kun inventoinneissa vaaditaan monipuolisia ja yksityiskohtaisia tietoja, menetelmä on tarpeettoman karkea. Jos yhtä luokkaa pide-

tään tulostuksen laskentayksikkönä, kuten yleensä tehdään, joudutaan jo inventoinnin suunnitteluvaiheessa suurelta osin päättämään, millaisille alueille tai luokkakombinaatioille tuloksia halutaan laskea. Tämä tekee menetelmän laskennallisen joustavuuden heikoksi. Toinen kritiikin aihe on siinä, että em. luokitettu otanta ei ole niin tehokas kuin kaksivaiheinen otanta voisi olla. Koska luokat joudutaan tekemään melko suuriksi (esim. 50–500 tulkintakohdetta/luokka), joudutaan samaan luokkaan hyväksymään ilmakuvilta huomattavastikin erilaisiksi todettavia kohteita. Tämä merkitsee ”ylimääräistä” luokkien sisäistä varianssia, joka on päälähde tulosten virhemahdollisuuksiin.

Luokitettuun otantaan liittyvien häiriöiden vuoksi kehitettiin toinen kaksivaiheiseen otantaan perustuva menetelmä, jossa edellä esitetty kritiikki on otettu huomioon. Nimekseen se sai erään työvaiheensa mukaisesti *ryhmittymenetelmä* (Grouping method). Sitä kokeiltiin ensi kerran Suonenjoella 1968 kahden metsätalouden inventoinnissa (POSO 1969). Samoihin aikoihin metsäntutkimuslaitoksen metsänarvioimisen tutkimusosastossa päätettiin, että ilmakuvien soveltamista kokeillaan myös metsien valtakunnallisten inventointien yhteydessä (KUUSELA and SALMINEN 1969, s. 9). Sopivaksi alueeksi katsottiin pohjoisin osa Suomea, koska siellä joutomaiden osuus on suuri, teitä vähän, metsätalous laajaperäistä ja metsätalouden kansantaloudellinen merkitys pieni.

Ennen ryhmittymenetelmän käyttöä varsinaisessa inventoinnissa suoritettiin kokeilua Lapissa (Laanilassa) noin 17 000 ha:n alueella vuonna 1969. Ilmakuvina käytettiin 1:60 000 kuvauksesta saatavia pinnakkaiskopioita. Kokeilun perusteella katsottiin aiheelliseksi soveltaa ryhmittymenetelmää seuraavana vuonna Perä-Lapissa (Inarin, Utsjoen ja Enontekiön) noin 3 milj. ha:n alueella osana valtakunnan metsien viidettä inventointia. Inventoinnin yhteydessä käytettyä ryhmittymenetelmän soveltamistapaa ja tärkeimpiä tuloksia luotettavuustarkasteluineen on käsitelty luvuissa 3, 4 ja 5. Menetelmän yleiskuvaus on annettu luvussa 2.

2. RYHMITYSMENETELMÄN KUVAUS

Ryhmittymenettelmä muistuttaa luokitukseen perustuvaa kaksivaiheista menetelmää (double sampling for stratification, vrt. esim. BICKFORD et al. 1963 ja COCHRAN 1963, s. 327–334). Erona on mm., että ryhmittymenettelmässä luokat, joita nimitetään ryhmiksi, ovat paljon pienempiä. Jokaisesta ryhmästä valitaan tavallisesti satunnaisotannalla vain yksi ilmakuvilta tulkittu näyteyksikkö tarkistettavaksi maastossa. Näyteyksikön maastossa mitatut tunnukset siirretään sitten kyseisen ryhmän kaikille ilmakuvilta tulkituille näyteyksiköille. Näitä käsitellään tulosten laskennassa ikään kuin ne olisivat kaikki maastossa mitattuja. Menettely ei johda harhaisiin tuloksiin, mutta tekee koko menetelmän laskennallisesti joustavaksi. Menettelmää kuvataan seuraavassa yksityiskohtaisemmin luettelemalla ja selostamalla siihen kuuluvat työvaiheet (a–j) siinä järjestyksessä kuin ne on käytännössä suoritettava. Kuvauksessa oletetaan, että näyteyksikkönä on koela, joka merkitään ilmakuvalla pisteinä.

a) Ilmakuvien hankinta.

Tavoitteena tulisi olla yhtenäinen stereopeitto inventoitavasta alueesta, kuvien mahdollisimman suuri tuoreus (kuvauksen ja maastotyön välinen aika lyhyt), hyvä kuvien tulkintateknillinen laatu (kiiltävä paperin pinta, sopiva suurennus, sopiva paperin laatu ja oikea kehitys) ja lisäksi mahdollisimman pienet kustannukset. Laajojen alueiden inventoinneissa voidaan joutua käyttämään eri-ikäisiä ja eri mitta-kaavaisiakin kuvauksia. Kuvien lainausmahdollisuuksia kannattaa tutkia.

b) Koealojen paikallistaminen ilmakuville.

Suosittelavaa on paikallistaa pisteet tasavälisesti. Työ voidaan suorittaa siirtämällä kaaviolle piirretty pisteistö numerostoihin kuville niiden kehitysvaiheessa. Toinen tapa, joka tulee kysymykseen varsinkin silloin, kun kuvat on jo etukäteen kehitetty, on käyttää mekaanisia pisteiden merkitsemislaitteita. Irrallisten ilmakuville kiinnitettävien pistekaavioiden käyttö ei ole suositeltavaa, koska kuvissa tapahtuu ”elämistä” lämpötila- ja kosteusolosuhteiden vai-

dellessa ja samalla pisteiden paikat ilmakuvilla muuttuisivat.

c) Ilmakuvakoealojen tulkinta.

Stereokuvien tulkinnessa käytetään hyväksi sopivasti (2–4 kertaisesti) suurentavia stereoskooppeja. Yksittäiskuvia käytettäessä on hyväänä apuna suurennuslasi. Tulkinna muita apuvälineitä ovat maastossa tavallisesti tutkittavalta alueelta edustavista kohdista mitatut mallialat, aluetta koskevat kartat ja muut asiapaperit. Lisäksi voidaan käyttää hyväksi esim. autolla tai lentokoneella tehtäviä tutustumiskäyntejä, suurikaavaisia ilmakuvia jne. Tulkintaan tulisi valita vain sellaisia tunnuksia, jotka ovat selvässä korrelaatiossa maastossa mitattaviin inventoinnin kannalta tärkeinä pidettäviin tunnuksiin ja joiden tulkinna luotettavuutta voidaan pitää riittävänä.

d) Ilmakuvakoealojen ryhmitys.

Ryhmittystä varten ilmakuvilta tulkitut tunnukset ja samalla koealojen paikkaa, omistajaryhmää, kuntaa, topografista korkeutta, vesistöaluetta yms. osoittavat koodit lävistetään reikäkortteille. Ryhmitys tapahtuu toistaiseksi kätevimmin lajittelukoneilla, koska työn suorittaminen tietokoneilla vaatisi varsin monimutkaiset ohjelmat ja tulisi kalliiksi. Lajittelukoneen avulla koealat ryhmitetään kaikkien ilmakuvilta tulkittujen tunnusten suhteen mahdollisimman homogeenisiin ryhmiin. Ryhmien koko määräytyy sopivaksi katsotun ilmakeu- ja maastokoealojen lukumääräsuhteen perusteella, sillä jokaisesta ryhmästä valitaan yksi koela satunnaisotannalla mitattavaksi maastossa. Yleensä ryhmän koko on 5–40 ilmakuvakoealaa.

e) Maastokoealojen valinta.

Jos maastokoealojen mittauskustannukset olisivat riippumattomia koealojen paikasta, olisi suositeltavaa valita maastokoeala joka ryhmästä rajoittamattomalla satunnaisotannalla. Mikäli siirtymiskustannukset koealalta toiselle tulevat näin huomattavan suuriksi, voidaan maastokoealojen valintaan soveltaa rajoitettua satunnaisotantaa tarkoituksella saada maastotyötä keskitettyä sopiviksi katsotuille alueille ja siten vä-

hensää maastokoealojen yksikkökustannuksia.

f) Maastokoealojen mittaust.

Työvaihe suoritetaan suunnilleen samalla tavalla kuin muissakin koealoja näytekysikköinä käytävissä menetelmissä. Ne tunnuksat, joita tarvitaan, mitataan tai luokitetaan. Koska ryhmittymismenetelmässä maastokoealojen lukumäärä on tavallisesti pienempi kuin muissa menetelmissä, koepuita täytyy valita suhteellisesti enemmän.

g) Maastotietojen laskenta koealoille.

Jokainen koeala tulee muodostamaan itsenäisen laskennallisen käsittely-yksikön. Jos maastokoeala jakautuu kahteen tai useampaan kuvioon, lasketaan jokaiselle kuviolle itsenäiset tulokset ja kuvion edustama pinta-ala merkitään muistiin.

h) Maastokoealoja vastaavien tietojen siirto vastaavien ryhmien kaikille ilmakuvakoealoille.

Jokaiselle ryhmän ilmakuvakoealalle annetaan ryhmästä valitun koealan maastossa mitatut täydelliset puusto- ja maapohjatiedot. Myös koealan mahdolliset jakaantumiset kuvioihin otetaan huomioon. Ilmakuvakoealojen paikkaa, omistajaryhmiä, kuntaa, topografiaa, vesistö-

aluetta yms. kuvaavat tiedot on otettu joka ilmakuvakoealalle erikseen kartastoilta ja ne säilytetään sellaisinaan.

i) Tulostustiedoston luominen.

Laajoissa inventoinneissa tietokoneiden käyttö on tavallisesti mielekästä varsinkin, jos tulostuksia joudutaan tekemään useita erilaisia luokituksia käyttäen. Tulostuslaskentoja varten kannattaa tiedot viedä tiedostoksi, jossa kaikki tarpeelliset koelakohtaiset tiedot ovat mahdollisimman yksinkertaisessa muodossa ja muodostavat yhden tietueen. Tietueen yleinen osa (paikka, omistajaryhmä jne) on jokaisella koealalla täysin itsenäinen (saatu esim. kartastoilta). Kasvupaikan laatua ja puustoa koskeva osa on ryhmittäin sama jokaisella ilmakuvakoealalla (vrt. työvaihe h).

j) Tulosten laskenta.

Kun jokainen ilmakuvakoeala muodostaa itsenäisen tietueen, voidaan ilmakuvakoealojen perusteella muodostaa minkälaisia laskennallisia tulostusyksiköitä tahansa. Myös alueille, joille sattuu ilmakuvakoealoja, mutta ei yhtään maastokoealaa, on mahdollista laskea tuloksia. Tämä ei ole mahdollista luokitukseen perustuvalla kaksivaiheisella menetelmällä.

3. RYHMITYSMENETELMÄN SOVELTAMINEN INVENTOINTIALUEELLA

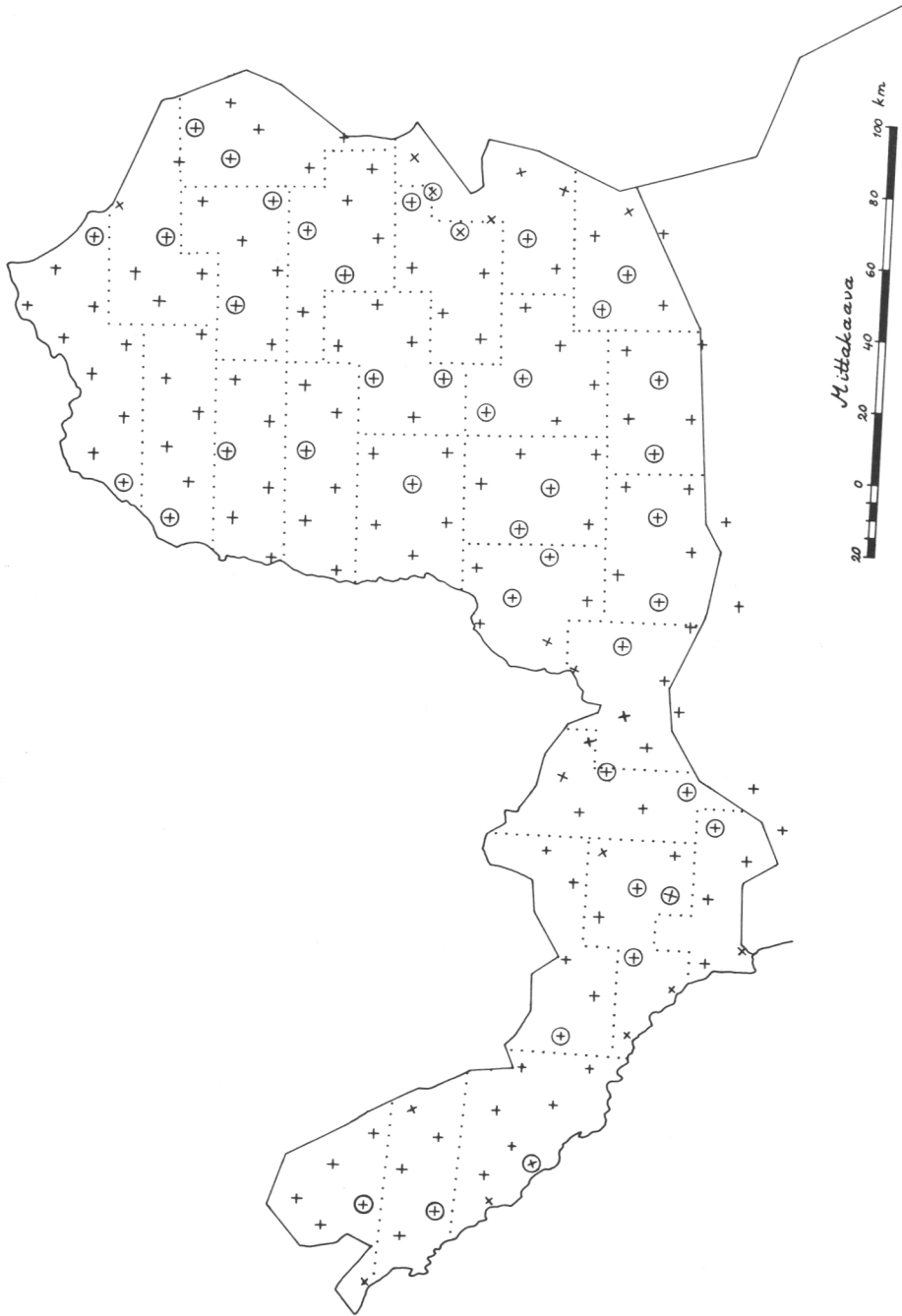
31. Alue

Inventointi käsitti Suomen kolmen pohjoisimman kunnan Inarin, Utsjoen ja Enontekiön alueet. Näiden maapinta-ala yhteensä oli Maanmittaushallituksen vuoden 1969 tilaston mukaan 2,86 milj. ha. Aluetta ilmakuvakoealojen ryhmittäessä käytettyinä osa-alueineen havainnollistaa kuva 1.

32. Ilmakuvat ja näytekysiköt

Ainoa koko alueen peittävä samassa mittakaavassa oleva kuvamateriaali oli saatavissa Puolustusvoimain Topografikunnan suorittamis-

ta ns. korkeakuvauksista. Nämä oli otettu mustavalkoiselle osittain pankromaattiselle ja osittain infrapunaiselle filmille mittakaavassa 1:60 000. Filmin koko oli 23 x 23 cm, mikä vastasi noin 19 000 ha maastossa. Positiivikuvat tilattiin kuvausmittakaavassa oikaisemattomina kiiltävällä pinnalla. Tällaiset kuvat olivat Laanlassa vuonna 1969 suoritetuissa kokeiluissa osoittautuneet käyttökelpoisiksi. Ostettaviksi tulivat vain ne kuvat, joille merkittiin (valokuvaamalla) näytekysiköt eli yhteensä 167 kuvaa (ks. kuva 1). Näiden kuvien stereotarkasteleluun tarvittavat kuvat lainattiin. Näistä suuri osa oli pinnaltaan puoli kiiltäviä ja laadullisesti muutenkin hiukan tilattuja kuvia heikompiä. Ilman lainausmahdollisuutta kuvien hankinta-



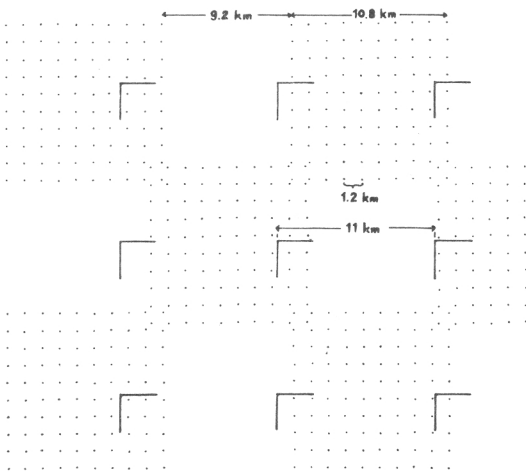
Kuva 1. Inventointialue. Pisteviivoilla on erotettu 26 osa-aluetta. Ristit esittävät niiden ilmakuvien keskipisteitä, joille on kuvattu kocala-pisteistöt. Ristin leikkausviivat ovat ilmakuvien sivujen suuntaiset. Ympyrä osoittaa, että kyseisen ilmakuvan rypäitä on mitattu maastossa.

Fig. 1. The area subject to inventory. The 26 sub-areas are separated by dotted lines. The crosses indicate the center points of the aerial photographs on which the sample plots have been photographed. The direction of the crosslines show the alignments of the photos. A circle denotes a photograph which has been selected for a field check.

kustannus olisi kuitenkin noussut yli kaksinkertaiseksi (yhtä ostettua kuvaa kohti lainattiin kaksi kuvaa).

Näyteyksiköt paikallistettiin kahdessa vaiheessa. Ensiksi valittiin ne ilmakuvat, joille näyteyksiköt tulivat merkittäviksi. Toiseksi jokaiselle valitulle ilmakuvalla (167 kpl) kuvattiin 100 näyteyksikköä, joiden väliset etäisyydet toisistaan vastasivat maastossa noin 1.2 km. Ilmakuvien valitsemiseksi alue jaettiin peruskartan ruutujaotusta apuna käyttäen 10 x 10 km:n ruutuihin. Valittujen joukkoon tuli joka toisen ruudun (kuten shakkilaudan samanväristen ruutujen) keskipistettä lähinnä oleva ilmakuva. Ilmakuville kuvattujen näyteyksiköiden sijoittumista koko alueen suhteen esittää kuva 2.

Näyteyksiköksi valittiin kahden toisistaan 40 m:n etäisyydellä olevan relaskooppikoealan muodostama ryväs. Kummankin rypään relaskooppikoealassa 1 luettu puu vastasi pohjapinta-alassa 1 m²/ha. Näyteyksikköä koskevaan ratkaisuun päädyttiin Laanilassa suoritettujen kokeilujen perusteella. Niissä kahden koealan muodostama ryväs osoittautui selvästi edullisemmaksi kuin kolmen muodostama ja hiukan edullisemmaksi kuin pelkästään yhdestä koealasta muodostettava näyteyksikkö. Laanilassa



Kuva 2. Ilmakuville paikallistettujen näyteyksiköiden sijainti: teoreettisesti laadittu malli. Suorakulmat kuvaavat muualla Lapissa inventoinnissa sovellettujen arvioimislohkojen sijoittumista.

Fig. 2. The position of photo-located sample plots, theoretical model. The right angles show the set up of inventory tracts applied elsewhere in Lapland.

kokeiltu 60 m:n koealaeäisyys katsottiin edulliseksi vähentää 40 miin.

Rypäät valokuvattiin ilmakuville relaskooppikoealojen keskipisteinä niihin liittyvine numeroineen. Näiden lisäksi kuvattiin ylimääräisiä pisteitä 200 m:n maastoetäisyyksin (kuva 3). Näistä osoittautui olevan huomattavaa hyötyä etäisyyksien ja ilmansuuntien arvioinnissa, kun rypäitä paikallistettiin ilmakuvilta maastoon. Tutkittavalle alueelle saatiin yhteensä 15 441 ryvästä.

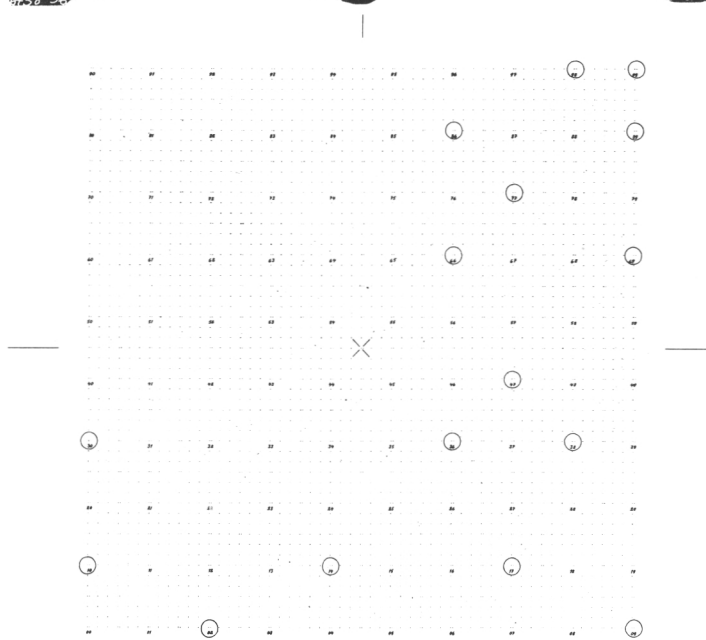
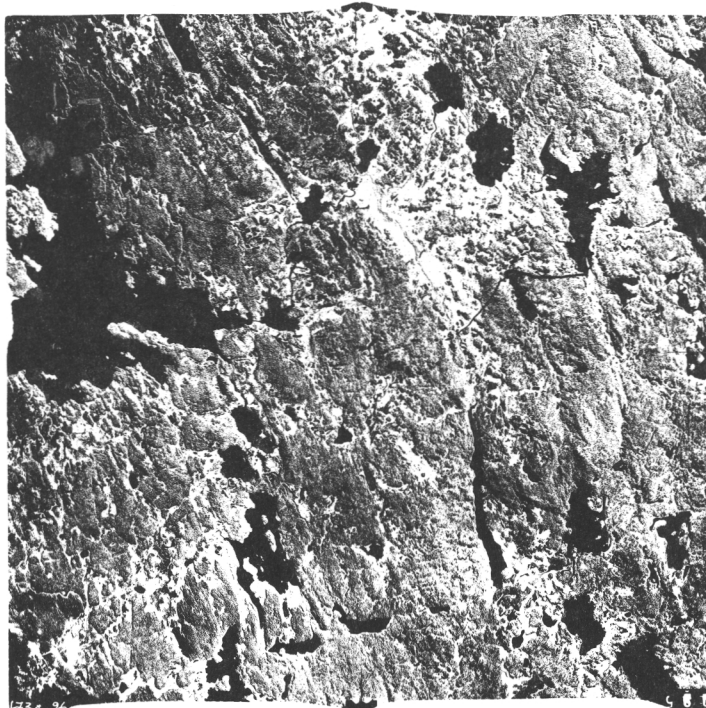
33. Rypäiden tulkinta ilmakuvilta

Rypäiden kuvatulkinat tehtiin talvella 1969–1970 kahden valtakunnan metsien inventoinnin ryhmänjohtajatehtävissä olleen metsänhoitajan toimesta. Heistä toinen tunsi paikalliset olosuhteet erittäin hyvin, toinen taas ei ollut käynytkään inventointialueella. Tulkinassa käytettiin apuna 2.8 kertaa suurentavia linssi-stereoskooppeja, metsähallituksen karttoja ja kartanselityskirjoja sekä Laanilasta edellisenä kesänä kerättyä malliaineistoa. Samalla ilmakuvalla olleet 100 ryvästä pyrittiin tulkitsemaan samana päivänä. Samalla osa-alueella (vrt. kuva 1) olleet ilmakuvat tulkittiin peräkkäin ja saman tulkitsijan toimesta. Tällä menettelyllä voitiin osaltaan pitää osa-alueen sisäinen satunnaisuusvaihtelu kohtuullisena.

Mikäli ryväs sattui vain yhdelle maaluokalle, se tulkittiin yhtenä kokonaisuutena ja sen pinta-alaksi merkittiin 2. Jos ryväs sattui vähintään kahdelle maaluokalle, jokainen maaluokka/ryväs-yhdistelmä tulkittiin itsenäisesti ja jokaiselle yhdistelmälle annettiin pinta-alaosuus siten, että osuuksien koko ryvästä koskevaksi summaksi kertyi 2. (Kumpainkin rypään relaskooppikoeala edusti pinta-alaa 1.) Jos rypäiden katsottiin jakautuvan kuvioihin saman maaluokan sisällä, tulkinassa käytettiin kuvioiden pinta-alaosuudella painotettua keskiarvoa niissä tapauksissa (esim. kuutiomäärä), joissa se oli mahdollista. Esim. kehitysluokka tulkittiin sen kuvion mukaan, jonka kuutiomäärä rypäessä arvioitiin suurimmaksi. Suoritettua menettelyä havainnollistamaan on otettu kuva 4.

34. Ryhmitys ja maastossa mitattavien rypäiden valinta

Tulkintalomakkeelle (ks. kuva 4) merkityt



Kuva 3. Perä-Lapin inventoinnissa käytetty ilmakeku ja ilmakekuvarypätiden paikallistamisessa käytetty kaavio. Ympyrät osoittavat, mitkä rypät esitetyn ilmakekuvan alueella on mitattu maastossa. Kuvauksen on suorittanut Topografikunta.

Fig. 3. An aerial photograph and the scheme of photo sample plots. The circles show the clusters measured on the field. Photographed by the Defence Forces.

Taulukko 1. Maastorypäiden valinnassa käytetty listausmalli. Esimerkki koskee aluetta 12, jolta on tulkittu 7 ilmakuvaa. Jokaiselle 26 alueelle tehtiin oma listansa.

Ryhmän n:o	Ilmakuva						
	1	2	3	4	5	6	7
	Sat. otannalla valittu ryppään n:o						
1	00	99	61	43	60	99	-
2	43	59	16	90	93	30	43
3	15	16	29	31	90	47	25
4	77	26	60	30	34	02	67
5	-	* 77	49	47	77	99	
6	47	69	-	85	-	89	17
7	28	* 69	63	95	36	92	
8	13	82	-	06	63	09	45
9	14	80	63	02	21	98	46
10	-	15	79	58	83	14	65
11	31	52	90	01	06	69	-
12	68	70	08	40	84	38	-
13	09	89	-	-	13	86	-
14	-	60	94	-	76	66	00
15	-	29	87	-	92	10	98
16	-	75	89	38	-	17	22

Maastomittauksiin varalle valitut ryppäät

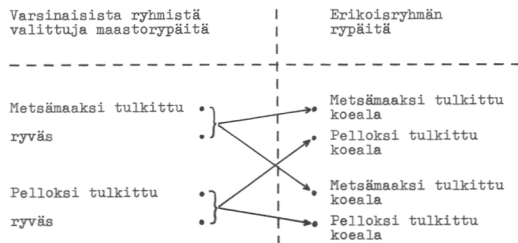
Maastomittauksiin ensisijaisesti valitut ryppäät

*Ryhmän edustaja on valittu viereiseltä tai suhteellisen lähellä olevalta osa-alueelta.

tettu 16 ryhmää. Niistä jokaiselle on löytynyt yksi edustaja ainoastaan ilmakuvan 6 ryppäistä. Tämän takia ilmakuva 6 ja sen 16 taulukkoon merkittyä ryvästä valittiin maastomittaukseen.

Maastorypäiden ja samalla ryhmien lukumäärä suunniteltiin niin, että kaksi maastorypää ehti mitata ne varmasti kesän aikana. Siltä varalta, että maastotyösaavutus olisi minimiarviota suurempi, valittiin toissijaisesti mitattavia maastorypäitä (taulukko 1, ilmakuvaa 2 koskevat ryppäät). Jos maastorypäitä ehdittiin mitata kahdelta osa-alueen ilmakuvulta, tuli yhtä alkuperäistä ryhmää kohden kaksi maastoryvästä. Ryhmittymen menetelmän edellyttämään järjestykseen päästiin jakamalla kahden maastorypään ryhmät kahtia niin, että kumpaisellekin uudelle ryhmälle tuli yksi maastoryvä. Näin menetelmän alkuperäinen ryhmien lukumäärä suureni 410:stä 659:ään, eli maastotyötä tehtiin huomattavasti yli minimiohjelman.

Maastorypäitä keskitettäessä sattui usein, ettei yhdellekään osa-alueen ilmakuvista saatu kaikkia ryhmiä edustetuiksi. Tällaisissa tapauksissa vaadittava maastoryvä valittiin tavallisimmin viereisen osa-alueen ko. ryhmää eniten muistuttavasta ryhmästä. Tätä menettelyä on sovellettu taulukon 1 ilmakuva 2:n kohdalla.



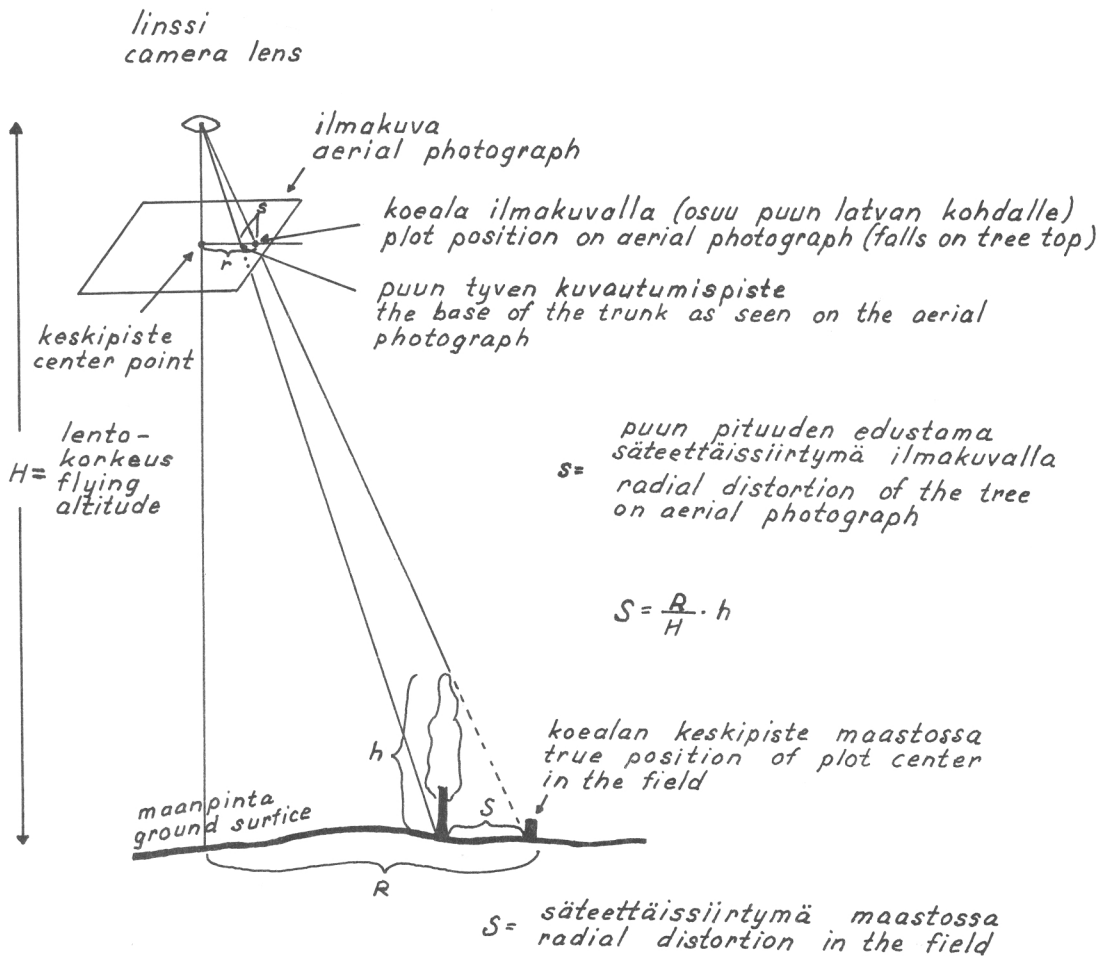
Kuva 5. Maastomittauksiin perustuvien tietojen hankkiminen erikoisryhmien ryppäille.

Erikoisryhmiä tehtiin, kuten edellä viitattiin, lähinnä jaetuista ryppäistä, joista ei ollut mahdollista saada riittävän homogeenisia ja suuria ryhmiä. Näiden ryhmien lukumääräksi tuli 31 ja niihin sisältyi yhteensä 100 ryvästä eli vain noin 0.65 % kaikista ryppäistä. Erikoisryhmiä ei valittu maastoryvästä, vaan rypäiden homogeenisille osille, esim. metsämaaosalle, haettiin varsinaisten ryhmien joukosta sellainen, joka muistutti eniten ko. osaryvästä ja ko. ryhmästä mitattu maastoryvä pantiin edustamaan tutkittavan erikoisryhmän osaa (ks. kuva 5).

35. Maastorypään paikallistaminen ja mittaus

Maastorypään paikallistamisella käsitetään tässä ilmakuvalla merkittyjen ryväskoealojen keskipisteiden siirtämistä maastoon. Paikallistamisen perustana oli ryvästä lähellä olevien sekä ilmakuvilta että maastossa tarkasti erotettävien yksityiskohtien löytäminen ja koealan etäisyyden ja suunnan arviointi ko. yksityiskohdan suhteen. Toinen mahdollisuus, jota Perä-Lapissa käytettiin harvoin, oli etsiä likimääräinen paikka, jonka jälkeen tarkka paikka määritettiin satunnaisotannalla tietyn säteisen ympyrän sisällä. Jälkimmäinen menettely tulee kysymykseen, kun ryvä sattuu homogeeniseen metsikköön, jolloin paikallistaminen tarkasti voi olla vaikeaa ja koealan paikan vaihtaminen annetulla alueella ei vaikuta merkittävästi ilmakuvatulkintojen ja maastomittauksen väliseen korrelaatioon. Laajoilla homogeenisilla alueilla (esim. usein suot, pellot, vedet) tarkalla paikallistamisella ei ollut mitään merkitystä, joten tällöin kyseinen työ oli helppoa.

Perä-Lapissa vastinpisteinä käytettiin joko selvästi erottuvia maamerkkejä (purojen mutkia, metsän ja kivikon reunaa, suopainannetta



SOVELLUTUS :
APPLICATION :

$$\left. \begin{array}{l} r = 8 \text{ cm} \Rightarrow R = 4800 \text{ m} \\ H = 9500 \text{ m} \\ h = 15 \text{ m} \end{array} \right\} \begin{array}{l} S = \frac{4800}{9500} \cdot 15 = 7.6 \text{ m} \\ \rightarrow S \sim 0.5 \cdot h \end{array}$$

Kuva 6. Säteettäissiirtymän arvioiminen maastossa.

Fig. 6. Estimation of the radial distortion in the field

jne.) ja/tai puustoa. Jälkimmäinen lähtökohta oli puustoisella alueella yleisempi. Yksittäisten vastinpuiden löytämiseksi kiinnitettiin ilmakuvilla ja maastossa huomiota puuston muodostamiin geometrisiin kuvioihin karttaprojektiossa. Vastinkuvioiden löytämisessä oli kompassi erittäin tarpeellinen kuvioon kuuluvien puiden välisten suuntien ja kulmien arvioimisessa. Puiden muodostamien vastinkuvioiden löytämisen jälkeen yksittäisten vastinpuiden määrittäminen oli helppoa.

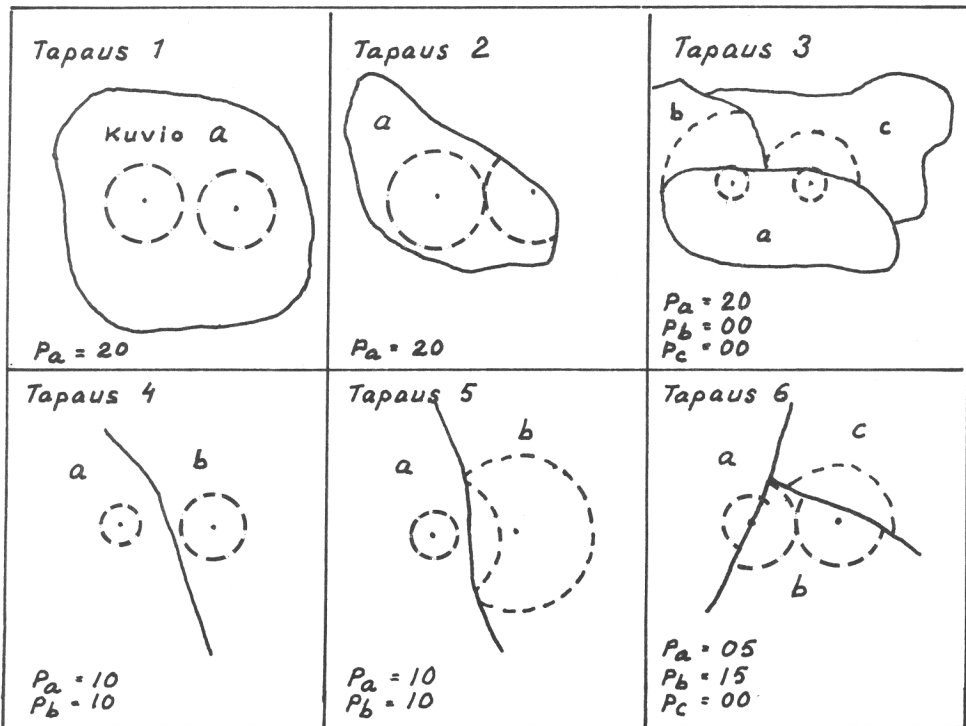
Kun paikallistaminen suoritettiin puuston perusteella, jouduttiin ilmakuville ominainen säteettäissiirtymä ottamaan osittain huomioon. Varsinkin kuvan laidoilla puun latva kuvautuu selvästi kuvan keskipisteestä kauemmaksi kuin puun tyvi. Ilmakuvilla puusta näkyy tavallisesti vain latvus; rypään paikallistaminen kuitenkin haluttiin suorittaa kauttaaltaan maan pinnan eli likimain puun tyven tasossa. Säteettäissiirtymän vaikutus (kuva 6) otettiin huomioon sekä rypäiden paikallistamisessa että tulkinnessa.

Rypään paikallistamisen jälkeen oli vuorossa kuvion selityksen laadinta, puiden luku ja koe-puiden mittaaminen. Näissä noudatettiin mahdollisuuksien mukaan muualla valtakunnan metsien

inventoinnissa käytettyjä menetelmiä (vrt. KUU-SELA and SALMINEN 1969 ja kuva 7). Vain tärkeimpinä pidettävät, edellä esitetyistä ohjeista poikkeavat yksityiskohdat selostetaan.

Kuvion selityslomakkeelle (kuva 7) maastossa merkittävät paikan tunnukset olivat karttalehti, jota ko. ilmakeku edusti, ryväs ja kuvion pinta-ala. Kuvioiden pinta-alojen summaksi tuli aina 20. Erilaiset pinta-alojen määrittämisperusteet on esitetty kuvassa 8. Ainoastaan se, mihin kuvioon tai kuvioihin ryväskealojen keskipisteet sattuivat, vaikutti pinta-alaosuuden määrittämiseen. Puustolla ei ollut merkitystä. Mikäli puustoa tuli mitattavaksi koealalle keskipistekuvion ulkopuolelta, kuvionselitys tehtiin myös tälle ulkopuoliselle kuviolle ja sen pinta-alaosuudeksi annettiin 00. Ryhmä (sarakkeet 1–3) tarkoittaa ryhmän tunnusta. Se merkittiin juoksevilla numeroilla maastotyön jälkeen. Samoin tehtiin ryhmän koon (ilmakuvilta tulkituttujen rypäiden lukumäärä ko. ryhmässä) merkinnän kohdalla.

Puut ja kannot luettiin kaikilta metsä- ja kirtumaan ryväskuvioilta lomakkeelle (kuva 7). Kelot ja enintään 4 vuotta vanhat kannot luettiin omilla koodeillaan.



Kuva 8. Erilaisia tapauksia ryväskuvioiden pinta-alaosuuksien, p, määrittämisessä maastossa.

Koepuiksi valittiin systemaattisesti joka viides luettu elävä puu. Näistä jokaisesta tehtiin tarpeelliset mittaukset kuutiomäärän, kasvun ja iän määrittämiseksi (kuva 7). Ikä- ja kasvulastut tutkittiin laboratoriossa. Sellaisista puista, joille ILVESSALON (1948) kuutioimistaulukoista ei olisi saatu tulosta ilman ekstrapolointia, mitattiin kuutioimista varten NEWTONIN kaavan käytön edellyttämät pituus- ja läpimittatunnukset. Kuutiointi suoritettiin pätkittäin pätkän pituuden sekä tyvi-, keski- ja latvaläpimitan perusteella eli

$$v = \frac{\pi h}{24} (d_0^2 + 4d_{0.5h}^2 + d_h^2)$$

(ks. esim. ILVESSALO 1965, s. 86).

36. Maastotietojen täydentäminen ja tarkistukset

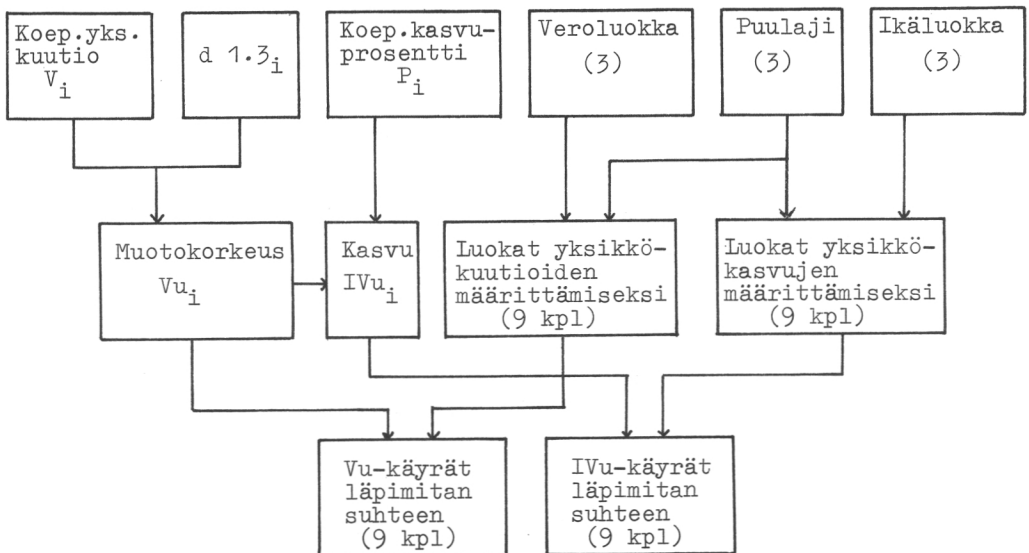
Koepuulomake täydennettiin sisätyönä merkittävällä sille koepuun mittaustietojen perusteella "käyttöpuun tilavuusprosentit"-taulukosta saadut saha-, pino- ja ohutpuuprosentit sekä ILVESSALON taulukoista otetut kunkin koepuun yksikkökuutio ja sen kasvuprosentti. Ilvessalon taulukkoarvojen ulkopuolelle jääneille laskettiin kokonais-, saha-, pino- ja ohutpuun kuutiomäärät maastossa pätkittäin suoritettujen mittausten perusteella käyttäen Newtonin kaa-

vaa. Kairanlastun mittauksen perusteella merkittiin lomakkeelle koepuun ikä ja läpimitan kasvu 5 vuoden aikana. Ilmakuvarypäiden ryhmitystä vastaava ryhmän numero merkittiin kaikille maastomittaustiedoille yhdistämään niitä ko. ilmakuvaryväryhmään. Lomakkeille tehtiin vielä silmävarainen yleistarkistus, jonka jälkeen tiedot lävistettiin reikäkortteille.

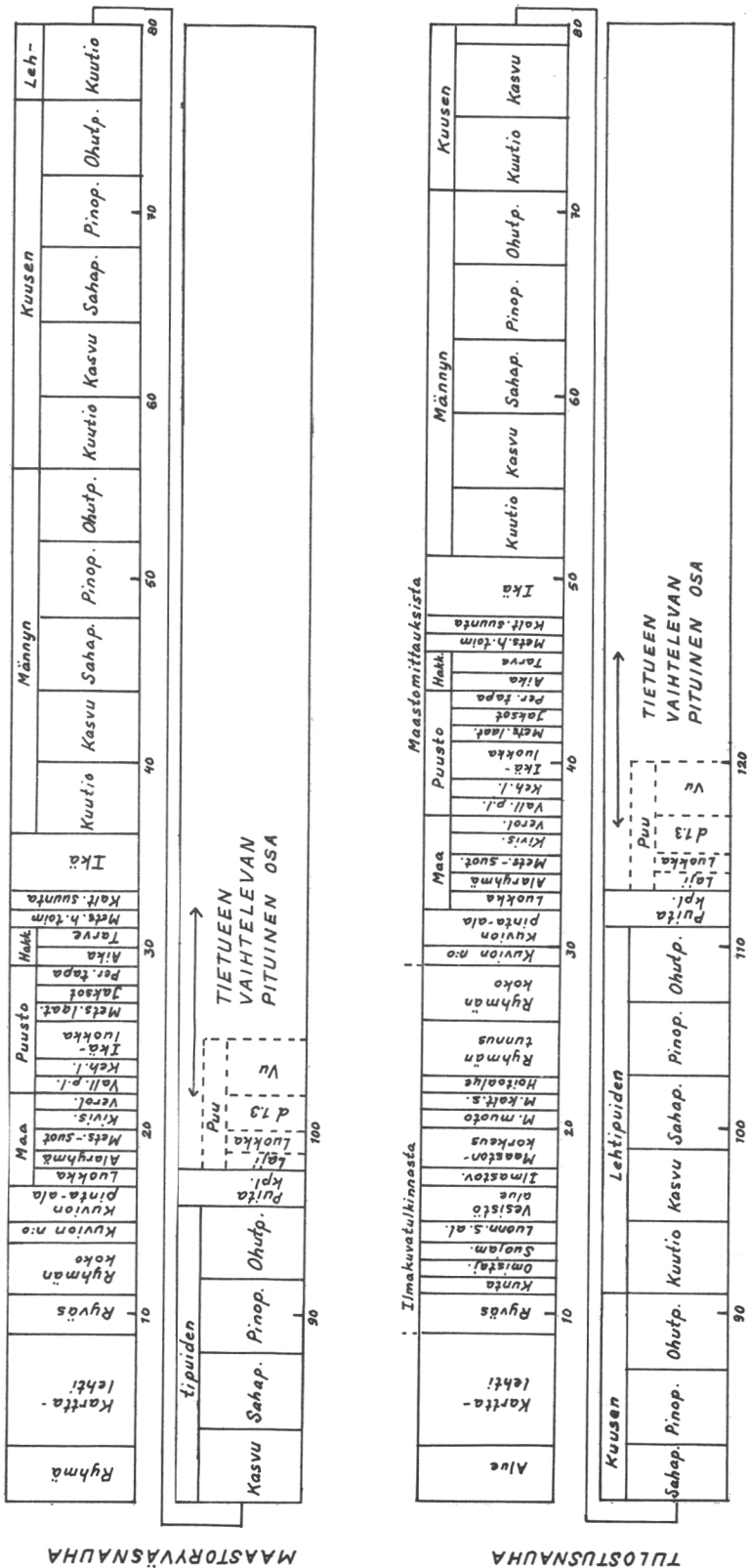
Syöttötiedoissa olevien virheiden poistamiseksi niille tehtiin monipuolinen tietokonetestaus, jossa tarkistettiin numero ja numerokoodimuotoisten tietojen suuruusluokka, koodien kelpoisuus, järjestys, lukumäärä ja looginen suhde toisiinsa. Virheellisen tai ristiriitaisen merkinnän korjasi aina merkinnän tehnyt ryhmänjohtaja itse.

37. Ryväskohtaisten maastotulosten laskenta

Sekä kuutiomäärien että kasvujen laskentaa varten koepuut jaettiin puulajin ja kuvionselitysten perusteella 9 luokkaan, joille laadittiin yksikkökäyrät läpimitan funktiona (kuva 9). Yksikkökuutioiden käsiteltiin ns. muotokorkeusluokina (fh:na yhtälöstä $v = gfh$; vrt. NYYS-SÖNEN 1954, s. 19). Tässä yhteydessä niitä on merkitty symbolilla Vu. Jos relaskooppikoelalla, jossa 1 puu edustaa 1 m²/ha, yhden puun



Kuva 9. Yksikkökuutio- ja kasvukäyrien laadinta.



MAASTORYÄSNAUHA

TULOSTUSNAUHA

Kuva 10. Maastoryväs- ja tulostusnauhan tietuemallit.

kuutiota merkitään V_i :llä, saadaan Vu_i seuraavasti:

$$Vu_i = V_i m^3 (10000 \text{ cm}^2 / \pi \frac{D_{1.3_i}^2}{4} \text{ cm}^2) / \text{ha}$$

$$= (12\,739 / d_{1.3_i}^2) V_i m^3 / \text{ha}$$

Vu_i :tä vastaava yksikkökasvu IVu_i saatiin seuraavasti

$$IVu_i = Pv_i \cdot Vu_i,$$

jossa Pv_i :n määrittäminen on perustettu IL-VESSALON (1948) taulukkotietoihin:

$$Pv_i = Pg_i + Pfh_i.$$

Kannoille laadittiin puulajeittain omat kuutiomiskäyränsä, joista saatiin suoraan kannon edustama kuutio hehtaaria kohti = $Vu(d_k)$.

Vu , IVu ja $Vu(d_k)$ syötettiin käyrltä läpimittaluokan funktiona tietokoneen muistiin, josta saatiin jokaiselle mitatulle puulle kuutio- ja kasvutiedot. Niiden avulla laskettiin jokaisen rypään jokaiselle kuviolle puulajeittaiset tiedot, jotka yhdessä puukohtaisten tietojen kanssa talletettiin ns. maastoryväsnauhalle (kuva 10).

38. Tulostusnauhan muodostaminen

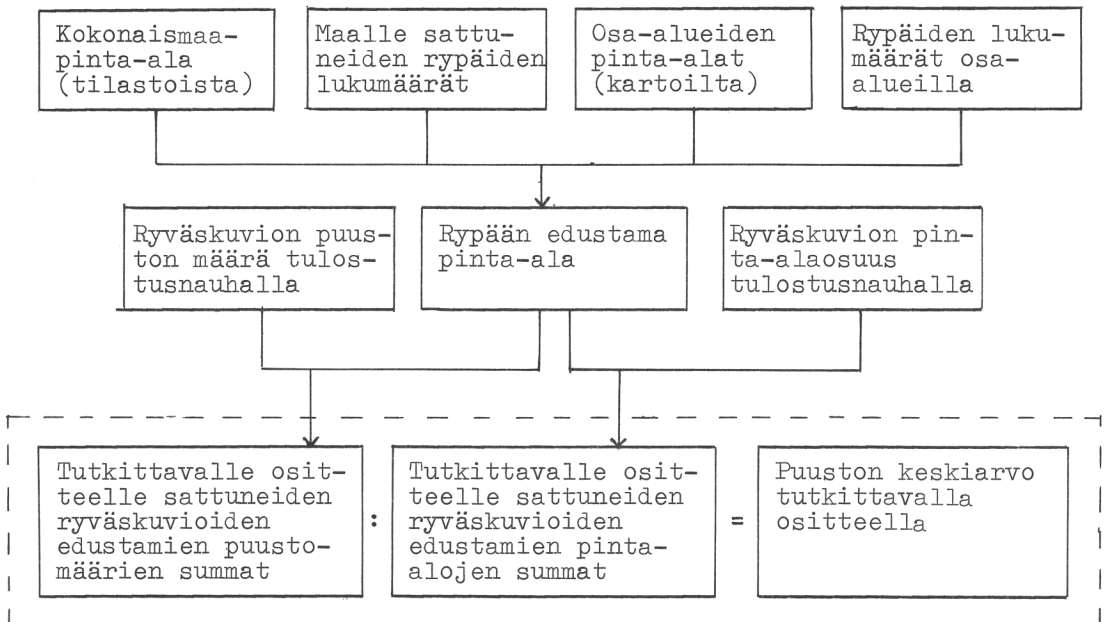
Lopullisten inventointitulosten laskenta suoritettiin tulostusnauhan tietueiden (yhteensä

19 726 kpl, kuva 10) avulla. Tulkintalomakkeen tiedoista (kuva 4) tietueeseen otettiin rypään paikkaa, omistajaryhmää, kuntaa, topografiaa, vesistöaluetta yms. kuvaavat koodit. Puustoa ja kasvupaikkaa kuvaavat tiedot saatiin maastoryväsnauhalta (kuva 10) sen rypään kohdalta, joka oli valittu kyseessä olevan ilmakeuvarypään ryhmää edustamaan. Ilmakeuvaryväs sai yhtä monta tietuetta kuin sitä edustavalle maastoryväsnauhalle oli erotettu kuvioita. Tämä selittää, miksi tietueiden määrä tulostusnauhalla on selvästi yli ilmakeuvilta tulkittujen rypäiden lukumäärän (vrt. 19726 ja 15441).

39. Tulosten laskenta

Lopullisten tulosten laskennassa tarpeelliset ryväsکوhtaiset tiedot saatiin tulostusnauhalta. Näiden tietojen lisäksi tarvittiin enää tiedot siitä, kuinka suurta pinta-alaa mikin ryväs edusti. Tämän saamiseksi katsottiin tilastoista ja kartoilta koko maapinta-ala ja jaettiin se samalle alueelle sattuneiden rypäiden lukumäärällä. Siltä varalta, että ilmakeuvarypäiden suhteellinen lukumäärä olisi vaihdellut osa-alueittain, määritettiin ryväsainot (rypäiden edustamat pinta-alat) osa-alueittain. Laskentamenettelyä on havainnollistettu lohkoakaaviossa kuvassa 11.

Edellä esitetystä on todettavissa, että keski-



Kuva 11. Lopullisten tulosten laskenta lohkoakaavioilla esitettyinä.

arvojen laskentaan on käytetty suhde-estimaattoria eli

$$\bar{y} = \frac{\sum_i y_i}{\sum_i a_i}$$

Joillakin pienillä ositteilla kyseinen menetelmä

voi johtaa huomattavan harhaisiin tuloksiin. Esimerkiksi, jos ositetta esiintyy vain yhdellä maastorypäällä ja siinä sen pinta-alaosuus on 00, jakajaksi $\sum_i a_i$ saadaan nolla ja ositteen keskiarvo siten tulisi äärettömän suureksi.

4. INVENTOINTITULOKSET

Valtakunnan metsien inventoinneissa tulokset lasketaan ja julkaistaan piirimetsälautakunnittain. Perä-Lapin inventointialueelta laskettiin samat tunnuksat kuin systemaattisella maastotunnalla muulla osalla Suomea. Tulokset yhdistettiin Lapin piirimetsälautakunnan muuhun

osaan ja ne ovat nähtävissä Folia Forestalia 110:ssä (KUUSELA & SALOVAARA 1971). Seuraavassa esitettävät tulokset koskevat vain Perä-Lapin alueita. Esittely rajoitetaan vain metsätalouden ja maan käytön kannalta tärkeimmiksi katsottuihin tunnuksiin. Menetel-

Ala- alue, Sub- district	Maaluokka Land-use class							Puulaji [☒] Tree species [☒]		
	I	II	III	I-III	I	II	I+II	1.	2.	3.
	1000 ha				1000 m ³			%		
1	194	35	21	250	12313	595	12408	89,5	1,7	8,8
2	341	298	361	1000	19362	3963	23325	81,8	1,7	16,5
3	133	292	785	1210	6128	3203	9331	67,7	4,3	28,0
4	74	121	196	391	3437	1840	5277	71,1	4,4	24,5
1-4	742	746	1363	2851	41240	9601	50841	80,2	2,4	17,4
1 a	187	34	19	240	11816	566	12382	89,4	1,8	8,8
1 b	7	1	2	10	497	29	526	91,3	-	8,7
4 a	32	36	72	140	1319	460	1779	75,6	5,6	18,8
4 b	42	85	124	251	2118	1380	3498	68,9	3,8	27,3

Puulajit, Tree species

1 = mänty, pine

2 = kuusi, spruce

3 = lehtipuu, broad-leaved

Taulukko 2. Pinta-alat ja kuutiomäärät (kuorineen) maaluokittain sekä kuutiomäärän jakautuminen puulajeihin. Ala-alueet selostettu kuvassa 12.

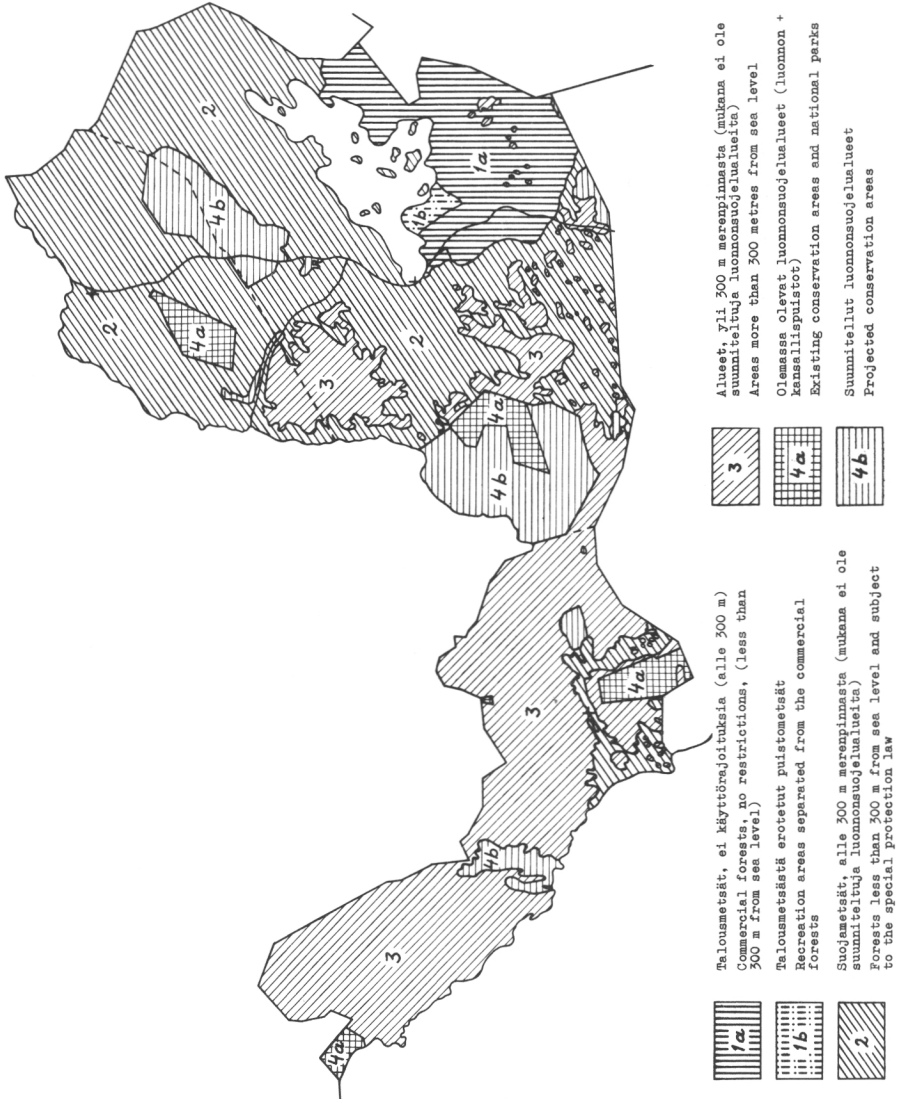
Table 2. Areas and volumes (including bark) by land-use classes, and distribution of volume into tree species. Description of sub-districts is given in Fig. 12.

mällä kyllä olisi helppo laskea tuloksia mille tulostusnauhan tietueilla esiintyville ositekombinaatioille tahansa.

Kuva 12 on piirretty osoittamaan metsätalouden harjoittamisen kannalta erilaisia alueita. Varsinaisten talousmetsien osuus on pieni. Suojametsiä on runsaasti ja niistä suuri osa vähintään 300 m meren pinnan yläpuolella. Luonnon- ja kansallispuistojen osuus on yli 10 %.

Näitä alueita vastaavia tuloksia esitellään taulukossa 2 ja koko alueen tuloksia taulukossa 3.

Hakkuusuunnite on laskettu metsätalouden harjoittamisen kannalta erilaisille alueille (kuva 12). Talousmetsien kohdalla suunnite on 1.29-kertainen kasvuun verrattuna. Suojametsä-alueella alle 300 m ja yli 300 m merenpinnasta vastaavat luvut ovat 1.15 ja 0.43.



Kuva 12. Perä-Lapin inventointialueen jakautuminen osa-alueisiin.

Fig. 12. The sub-areas for which the independent inventory results have been calculated.

Ala- alue Sub- district	Kasvu ☒		Growth ☒		Suunnite ☒, Allow.cut ☒			
	1	2	3	1-3	1	2	3	1-3
	1000 m ³				1000 m ³			
1	151	4	27	182	199	5	31	235
2	257	7	115	379	315	9	110	434
3	88	6	89	183	59	6	43	108
4 b	34	2	33	69				
1-4 b	530	19	264	813	573	20	184	777

☒ = puulajeittain, puulajikoodit kuten taulukossa 2.

☒ = by tree species, codes as in Table 2.

Taulukko 3. Kasvu ja hakkuusuunnite puulajeittain kuorineen.

Table 3. Growth and allowable cut by tree species including bark.

5. TULOSTEN LUOTETTAVUUS

51. Kuvatulkinnan ja maastomittausten vastaavuus

Kuvatulkinta on luonteeltaan samanlaista kuin silmävarainen arviointi maastossa. Sattumanvaraisten virheiden lisäksi saattaa henkilökohtaisten taipumusten perusteella syntyä systemaattisia virheitä. Perä-Lapin kuvatulkinnan ja maastomittausten vastaavuutta on esitetty maaluokan ja kuutiomäärän osalta taulukon 4 ja kuvan 13 avulla.

Maaluokkien tulkinnassa täydellinen vastaavuus on saavutettu keskimäärin 83 tapauksessa 100:sta. Tulkki 1:llä vastaava luku on 80 ja tulkki 2:lla 86. Edellisellä on selvää systemaattista kasvupaikan tuottokyvyn aliarviointia, jälkimmäisellä erot sattuvat melko tasaisesti maastohavaintojen kummallekin puolelle. Kuva 13 osoittaa, että kuutiomäärän tulkinnassa ilma-kuva- ja maastohavaintojen välinen korrelaatio on tulkki 2:n ja metsämaan osalta noin 0.73. Tulkki 1:llä kohteet olivat huomattavasti vähäpuustoisempia, mutta korrelaatiokerroin oli lähes yhtä korkea kuin tulkki 2:lla.

52. Rypäiden paikallistaminen, säteettäis-siirtymä ja koepuiden kuutiointi

Inventointitulosten luotettavuuksia arvioitaessa tulisi ottaa huomioon mm. maastokoalojen paikallistamis- ja mittausvirheet, taulukoiden käytöstä aiheutuvat virheet, tietojen käsittelyssä (tietojen luku lomakkeille, lomakkeiden lävistys, laskenta- ja tulostustyö) tapahtuvat virheet ja otantavirheet. Tavallisesti inventointimenetelmien selostuksissa päähuomio annetaan otantavirheille. Niitä käsitellään luvussa 53. Tässä tarkastellaan osaa muista tekijöistä.

Koalojen paikallistamiseen systemaattisella maasto-otannalla on todettu sisältyvän selvä systemaattisen virheen vaara (KOIVISTO 1965). On mahdollista, että ajettaessa arvioimislohkovuonakompassin (tai bussolin) avulla maastoon, ne sattuvat keskimääräistä vähäpuustoisemmille alueille, ja siten linjalle paikallistettujen koalojen perusteella lasketut kuutiomäärät ovat liian pieniä. Ryhmittymenettelmiä käytettäessä systemaattista virhettä ei synny linjojen suunnituksesta. Sen sijaan sitä saattaa syntyä, jos

Maaluokka kuva- tulkinalla	Tulkki 1					Tulkki 2					Tulkit 1+2				
	Maaluokka maastossa														
	1	2	3	4-7	Yht.	1	2	3	4-7	Yht.	1	2	3	4-7	Yht.
1	4	0	0	0	4	32	3	0	0	35	17	1	0	0	19
2	8	18	5	0	31	4	13	1	0	18	6	16	3	0	25
3	1	6	53	0	60	1	4	25	0	30	1	5	40	0	46
4-7	0	0	0	5	5	0	0	0	16	16	0	0	0	10	10
Yhteensä	13	24	59	5	100	38	21	25	16	100	24	22	43	10	100

Maaluokkakoodit:

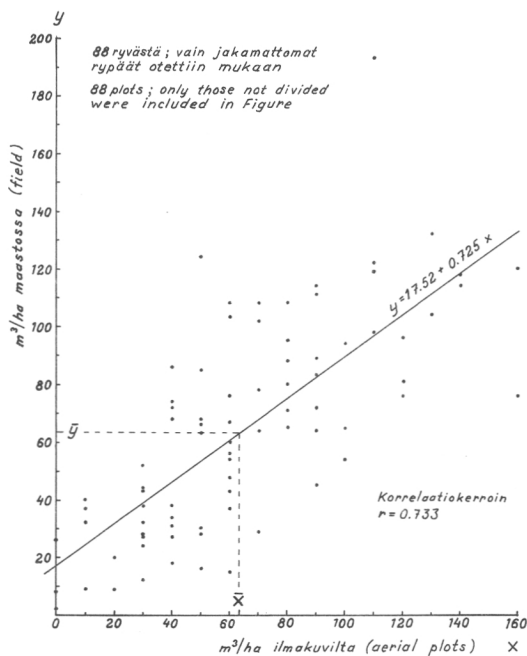
- 1 = metsämaa
- 2 = kitumaa
- 3 = joutomaa
- 4-7 = pellot, rak.maat, tiet, sähkölinjat ja vedet

Taulukko 4. Ilmakuilta tulkittujen ja maastossa tarkistettujen rypäiden maaluokkien vastaavuus prosenttiluvuilla esitettynä.

koelaa ei paikallisteta täysin luotettavasti ja jos paikallistajalla on taipumus sijoittaa koelaa mahdollisen alueen sisällä joko keskimääräistä puustoisempaan tai vähemmän puustoiseen kohtaan. Tällaisten virheitten välttämiseksi voidaan melko helposti kehittää objektiivisia paikallistamismenetelmiä. Esimerkkinä mahdollisuuksista on menettely, jossa ensin paikallistetaan koelaa lähetyvillä oleva helppo piste. Seuraavaksi arvioidaan koelaa suunta ja etäisyys tämän pisteen suhteen ja koelaa paikallistaminen suoritetaan ko. suunnassa tapahtuvan mittauksen perusteella. Lyhyellä suuntimis- ja mittausmatkalla systemaattiset virheet ovat todennäköisesti merkitykselliset.

Toinen systemaattinen virhemahdollisuus liittyy rypäiden paikallistamiseen ilmakuille. Mikäli käytetään yksinkertaisinta tapaa, jolloin paikallistaminen tehdään ilmakuille (ei maaston) suhteen systemaattisesti, ilmakuilla esiintyvän säteittäissiirtymän johdosta rypäitä saadaan suhteellisesti enemmän korkeille kuin matalille maaston kohdille. Jos inventoitava tunnus on korrelaatiossa maaston korkeuteen, ko. tunnuksen, (esim. keskikuution) odotusarvo on harhainen (liian pieni). Käytettäessä 1:60 000 kuvauksesta saatavia kuvia, säteittäissiirtymällä ei Suomen suhteellisen tasamaastoisissa olosuhteissa ole paljoa merkitystä, kuten todettiin Laanilassa tehdyissä kokeiluissa.

Perä-Lapin rypäiltä luettujen puiden joukossa oli suuri määrä sellaisia, joille kuutiomäärän poimiminen ILVESSALON (1948) tau-



Kuva 13. Ilmakuilta ja maastossa arvioitujen kuutiomäärien vastaavuus metsämaalla tulkki 2 mukaan.

Fig. 13. The correlation between photo- and field-estimated volumes on forest land according the Interpreter 2.

lukoista ei ollut mahdollista ilman ekstrapolointia. Näitä nimitettiin ”huonomuotoisiksi puiksi”. Suuri määrä tähän ryhmään kuului pelkästään sen takia, että niiden rinnankorkeusläpimitta ylitti taulukkomaksimin 50 cm. Huonomuotoisten puiden kuutioinnin ”taulukkovirheiden” vähentämiseksi ko. puista mitattiin tai osittain arvioitiin silmävaraisesti tarpeelliset tiedot Newtonin kuutioimisytälön (ks. sivu 16) soveltamiseksi.

53. Otantavirheet

Ryhmittymenettelmissä otantavirhettä syntyy, a) koska ilmakehille paikallistetut rypäät edustavat puutteellisesti koko ilmakehille paikallistettavissa olevien rypäiden populaatiota ja b) koska ryhmistä valitut maastorypäät edustavat puutteellisesti ryhmää eli koska ryhmät eivät ole täysin homogeenisia. Edellisen virheen merkitystä mitataan ns. ilmakeharypäiden edustavuusvarianssilla ja jälkimmäisen ryhmien sisäisellä varianssilla. Inventointitulosten tarkkuuden estimointi edellyttää edellä esitettyjen varianssien estimointia.

Ilmakeharypäiden edustavuusvarianssille annetaan tässä merkintä v_2 . Matemaattisesti tämä voidaan merkitä yhtälöllä

$$v_2 = g \sum_k w_k (\bar{y}_k - \bar{y})^2, \quad (1)$$

jossa g = kerroin
 k = ryhmän indeksi
 w_k = ryhmän painoluku
 \bar{y}_k = ryhmän keskiarvo
 \bar{y} = otoskeskiarvo.

Kertoimen g arvo määräytyy sen mukaan, miten ilmakeharypäät on paikallistettu. Jos paikallistaminen on tehty satunnaisotannalla yli koko inventoitavan alueen, g :n arvo on 1. Jos rypäiden sijoitus on tehty tehokkaammalla tavalla (esim. systemaattisesti) rypäiden edustavuus paranee ja g saa nollan ja yhden välillä olevia arvoja. Yleensä g :n arvo on vaikea määrittää, ellei rypäiden paikallistamista suoriteta satunnaisotannan mukaisesti. Kertoimen estimointi täytyy tavallisesti perustaa aikaisemmista empiirisistä kokeiluista saatujen tulosten harkinnanvaraiseen soveltamiseen tai sitten lisäaineistojen keruuseen itse inventointialueelta.

Ilmakeharypäiden sijoittumista inventointialueelle havainnollistettiin kuvassa 2 (s. 9). Aikaisemmista tutkimuksista (esim. NYSSÖ-

NEN & KILKKI & MIKKOLA 1967) on todettavissa, että kocalojen tasavälinen sijoittaminen alentaa g :n selvästi alle 1:n. Kuvassa 2 systemaattisuus ei kuitenkaan ole yksivaiheisesti tasavälistä, mikä taas on omiaan kasvattamaan kertoimen g arvoa. Luotettavien selvitysten puutteessa g :n arvo on oletettu tässä samaksi kuin satunnaisotantaa sovellettaessa eli siis 1:ksi.

Ryhmien sisäisen varianssin estimoinnissa ei voida suoraan soveltaa tavanomaisia kaksivaiheiseen otantaan kuuluvia menetelmiä, koska jokaisesta ryhmästä valitaan vain yksi ryvä maastomittaukseen. Esim. COCHRANIN (1963, s. 322–334) esittämä ensimmäisen otantavaiheen näyteyksiköiden luokittukseen perustuva menetelmä edellyttää, että jokaisesta luokasta valitaan satunnaisotannalla useita näyteyksiköitä toisen vaiheen otokseen. Luokkien sisäiset varianssit lasketaan sitten toisen vaiheen näyteyksiköiden perusteella.

Ryhmittymenettelyn varianssien estimoinnissa voidaan kuitenkin käyttää edellä viitatuille luokittukseen perustuvalla otannalla kehitettyjä estimointiyhtälöitä. Luokkien sijasta ryhmittymenettelmissä käytetään ryhmäyhdistelmiä. Tällöin ryhmäyhdistelmien teko ja niiden sisäisten varianssien estimointitapa ovat jossakin määrin harkintaan perustuvia. Ryhmäyhdistelmät voidaan tehdä erikseen kullekin tunnukselle, jonka estimointitarkkuutta tutkitaan. Ilman enempiä teoreettisia perusteluja esitetään seuraavassa varianssien estimointeja muutamien esimerkein, joiden tarkoituksena on samalla kuvata suoritettujen inventointien tulosten todellisia tarkkuuksia.

Esimerkki 1. Metsämaan osuuden varianssin estimointi.

Estimointiin on sovellettavissa kaksivaiheiseen otantaan ja luokittukseen perustuvia estimaattoreita (vrt. COCHRAN 1963, s. 333):

$$v_{(P_{st})} = \sum_h w_h^2 \frac{P_h q_h}{n_h - 1} + \frac{1}{n'} \sum_h w_h (P_h - P_{(st)})^2 \quad (2)$$

jossa h = ryhmäyhdistelmän indeksi

L = ryhmäyhdistelmien lukumäärä

n' = ilmakehiltä tulkittujen rypäiden lukumäärä = 15 441.

Muut symbolit käyvät selville taulukosta 5.

Yhtälön summan jälkimmäinen osa edustaa ilmakeharypäiden edustavuusvarianssia v_2 , joka on jaettu ilmakeharypäiden lukumäärällä ja jossa kertoimen g arvoksi on oletettu 1. Summan ensimmäinen osa kuvaa ryhmien si-

Ryhm. yhdist. Group set	Yhdist. osuus the set	Maasto- rypäitä No. of field clusters	Metsäm. osuus for. land	1-P _h	Vari- anssi ance	10000 *	w _h *	Ryhmäyhdistelmän selitys (tulikki, maaluokka ilmakekuvalla) Description of group set (interpreter, land class on photo)
h	w _h	n _h	P _h	q _h	P _h q _h	$\frac{w_h^2 P_h q_h}{n_h - 1}$	$(p_h - P_{st})^2$	
1	.024	20.5	.938	.062	.0582	.01719	.01159	I
2	.167	105.5	.260	.740	.1924	.51348	.00005	II
3	.323	141.0	.010	.990	.0099	.07378	.01754	III
4	.027	19.5	.000	1.000	.0000	.00000	.00159	IV-VII
5	.162	154.5	.912	.088	.0803	.13729	.07250	I
6	.084	67.0	.232	.768	.1782	.19051	.00001	II
7	.140	90.0	.043	.957	.0412	.09073	.00560	III
8	.073	61.0	.008	.992	.0079	.00702	.00403	IV-VII
1-8	1.000	659.0				1.03000	.11291	

$$P_{st} = \sum w_h P_h = 0.242998 \sim 0.243$$

$$v(P_{st}) = \sum \frac{w_h^2 P_h q_h}{h} + \frac{1}{n} \sum w_h (P_h - P_{st})^2$$

$$= 0.00010300 + 0.00000731 = 0.00011031$$

(93.4 %) (6.6 %) (100.0 %)

$$s(P_{st}) = \sqrt{0.00011031} = 0.0105028$$

= 1.05 %.

$$P(95\%) = P_{st} \pm t \cdot s(P_{st}) = 0.243 \pm 2 \cdot 0.0105$$

$$\Rightarrow 0.222 < P(95\%) < 0.264$$

Taulukko 5. Varianssin estimointi metsämaan osuudelle (koko alueessa vedet ovat mukana).
Table 5. Estimation of variance for the proportion of forest land (waters included in total area).

säisestä varianssista aiheutuvaa vaikutusta varianssiestimaattiin $v_{(P_{st})}$. Kun ryhmien sisäiset varianssit oletetaan ryhmäyhdistelmittäin yhtä suuriksi ja ryhmäyhdistelmän sisäinen varianssi yhtä suureksi kuin sen ryhmien sisäiset varianssit, on edellä esitetty estimaattori $v_{(P_{st})}$ täysin käyttökelpoinen ryhmitysmenetelmälle. Ryhmäyhdistelmien muodostaminen homogeenisiksi pinta-alaositteiden suhteen ilmakuvatulkintojen perusteella ei yleensä tuota vaikeuksia. Edellä esitetyt oletukset voidaan siten tehdä käytännössä ja esitettyä estimaattoria pitää käyttökelpoisena.

Taulukkoarvojen (taulukko 5) perusteella saadaan varianssiestimaatiksi:

$$v_{(P_{st})} = 0.00010300 + 0.00000731 = 0.00011031$$

(93.4 %) (6.6 %) (100.0 %)

Pääosa (93.4 %) metsämaan osuusestimaatin varianssista on aiheutunut ryhmien sisäisestä varianssista. Ilmakuvarypäiden lukumäärää lisäämällä ei olisi saavutettu merkittävää tarkkuuden paranemista. Täten esimerkkitalanteessa tulosten luotettavuus olisi parhaiten suurennettavissa lisäämällä maastorypäiden lukumäärää, ja jos mahdollista, ilmakuvatulkintojen tarkkuutta.

Edellä esitetystä varianssista päästään helposti metsämaan osuuden hajontaan ja sitä tietä estimaatin luotettavuusrajojen arvioimiseen.

$$s_{(P_{st})} = \sqrt{0.00011031} = 0.0105028$$

= 1.05 %.

Otantateorian perusteella 95 %:n luotettavuudella metsämaan osuus ei poikkea saadusta estimaatista enempää kuin noin $\pm 2 \cdot 0.0105$ eli

$$P_{(95\%)} = P_{st} \pm t \cdot s_{(P_{st})} = 0.243 \pm 2 \cdot 0.0105$$

eli $0.222 < P_{(95\%)} < 0.264$

Edellä metsämaan osuutta on tarkasteltu koko pinta-alan suhteen, jolloin mukana ovat myös vedet. Jos metsämaan osuus halutaan ilmoittaa maapinta-alan suhteen, metsämaan osuus- ja samalla sen varianssilukemat kasvavat. Jos maan osuutta koko pinta-alasta merkitään π :llä, saadaan uusiksi metsämaan osuuden ja varianssin estimaateiksi:

$$p'_{st} = p_{st}/\pi \text{ ja}$$

$$v_{(p'_{st})} = v_{(P_{st})}/\pi^2$$

Laskettujen tulosten perusteella $p'_{st} = 26.0\%$, tällöin

$$\pi = 0.243/0.260 = 0.9346 \text{ ja}$$

$$v_{(p'_{st})} = 0.00011031/0.9346^2 = 0.00012629$$

sekä

$$s_{(p'_{st})} = \sqrt{0.00012629} = 0.0112379$$

= 1.12 %.

Hajonnan osuudeksi keskiarvosta eli variaatio-kertoimeksi saadaan

$$Cv = 100 \cdot 0.0112379/0.260 = 4.32\%$$

$$= 100 \cdot 0.0105018/0.243 = 4.32\%.$$

Esimerkki 2. Koko aluetta vastaavan keskikuvation varianssin estimointi

Sopivan estimaattorin löytämiseksi on taaskin käytetty lähtökohtana kaksivaiheiseen otantaan ja ensimmäiseen vaiheeseen otosyksiköiden luokitukseen perustuville menetelmille kehitettyjä yhtälöitä (ks. COCHRAN 1963, s. 333):

$$v_{(\bar{y}_{st})} = \frac{n'}{n'-1} \sum_h \left\{ \left(w_h^2 - \frac{g' w_h}{n'} \right) \frac{s_h^2}{n_h} + \frac{g' w_h (\bar{y}_h - \bar{y}_{st})^2}{n'} \right\}, \quad (3)$$

jossa

L = ryhmäyhdistelmien lukumäärä

n' = ilmakuvilta tulkittujen rypäiden lukumäärä

g' = (N-n)/(N-1), jossa osoittajana on kaikkien mahdollisten ilmakuvarypäiden lukumäärä vähennettynä otokseen poimittujen ilmakuvarypäiden lukumäärällä.

Muut symbolit käyvät selville taulukosta 6.

Esitetty yhtälö on usein muutettavissa yksinkertaisempaan muotoon ilman, että siitä aiheutuvilla muutoksilla olisi tuloksiin käytännöllistä merkitystä. Samalla ryhmäyhdistelmän sisäinen varianssi s_h^2 on korvattu regressiosuoratasoituksella selittämättä jääneellä varianssilla $s_{y \cdot x}^2$ (vrt. kuva 13).

$$v_{(\bar{y}_{st})} = \frac{1}{h} \sum_h w_h^2 \frac{s_{y \cdot x}^2}{n_h} + \frac{1}{n'} \sum_h \sum_k w_{hk} (\bar{y}_{hk} - \bar{y}_{st})^2 \quad (4)$$

Ryhmäyhdistelmien muodostaminen homogeenisiksi kuutiomäärien suhteen tuottaa usein vaikeuksia. Ryhmäyhdistelmien sisäisten kuutiomäärähavaintojen varianssia ei nimittäin voida yleensä olettaa yhtä suureksi kuin vastaavia yksittäisten ryhmien sisäisiä variansseja. Tästä aiheutuva hankaluus on selvitetty sillä, että ryh-

Ryhm. yhdist. Group set	Yhdist. osuus Prop. of the set	Maasto- rypäitä No. of field clusters	Sis. var. Var. with.	Keski- arvo Mean	$\frac{w_h^2 s_{y \cdot x}^2}{n_h}$	$\frac{w_h \cdot}{(\bar{y}_h - \bar{y}_{st})^2}$	Ryhmäyhdistelmän selitys (tulkki, maaluokka ilmakuvalla) Description of group set (interpreter, land class on photo)
h	w_h	n_h	$s_{y \cdot x}^2$	\bar{y}_h			
1	.0268	23	515	62	.01608	49.55	I
2	.1858	103	259	22	.08681	1.67	II
3	.3568	140	9	1	.00818	115.60	III
4	.1792	165	699	58	.13604	272.56	I
5	.0927	62	149	19	.02065	0	II
6	.1547	82	18	2	.00525	44.71	III
7	.0040	9	0	0	.00000	1.44	IV-VII
	1.0000	584		19	.27301	485.53	

$$n' = 13953$$

$$485.53/13953 = 0.0348$$

$$v(\bar{y}_{st}) = \frac{1}{n'} \sum_{h=1}^L w_h^2 s_{y \cdot x}^2 + \frac{1}{n'} \sum_{h=1}^L \sum_{k=1}^{n_h} w_{hk} (\bar{y}_{hk} - \bar{y}_{st})^2$$

$$\doteq 0.2730 + 0.0348 = 0.3078$$

$$s(\bar{y}_{st}) = \sqrt{0.3078} = 0.555 \text{ m}^3/\text{ha}$$

Taulukko 6. Varianssin estimoiminen koko alueen keskikuutiolle.

Table 6. Estimation of variance of the mean volume of total area.

mien varianssit on oletettu ryhmäyhdistelmittain yhtä suuriksi ja yhtä suuriksi kuin ryhmäyhdistelmien sisällä regressiosuorilta selittämättä jäänyt varianssi. Regressiosuoran laatimisessa selittävänä muuttujana on esimerkissä käytetty ilmakuvilta tulkittua kuutiota x ja selitettävänä muuttujana maastossa mitattua kuutiota y .

Soveltamalla edellä esitettyä yhtälöä taulukon 6 esittämään tilanteeseen, saadaan:

$$v(\bar{y}_{st}) = 0.2730 + 0.0348 = 0.3078$$

$$s(\bar{y}_{st}) = \sqrt{0.3078} = 0.555 \text{ m}^3/\text{ha}$$

Hajonnan osuudeksi keskiarvosta eli variaatiokerroimeksi saadaan:

$$C_v = 100 \cdot 0.555/19 = 2.9 \%$$

Esimerkki 3. Metsämaan keskikuution varianssin estimointi.

Esimerkissä 2 sovellettujen perusteiden mukaan on laadittu taulukko 7 ja laskettu metsämaan keskikuution tarkkuutta osoittavat estimaatit.

$$v(\bar{y}_{st} \text{ metsämaa}) = 2.6205 + 0.0044 = 2.6249$$

$$s(\bar{y}_{st} \text{ metsämaa}) = \sqrt{2.6249} = 1.620$$

$$\text{Variaatiokerroin } C_v = 100 \cdot 1.620/55.4 = 2.9 \%$$

Esimerkki 4. Varianssin estimointi a) koko alueen ja b) metsämaan kokonaiskuutiolle.

a) Inventointialueen kokonaiskuutioksi saatiin 50.84 milj. m^3 . Matemaattisesti se voidaan merkitä lasketuksi yhtälöllä:

$$y = A \cdot \bar{y} = 50.84 \text{ milj. m}^3.$$

Koska kokonaispinta-ala oletetaan tunnetuksi, saadaan kokonaiskuution hajonnaksi (ks. esimerkki 1):

$$s_y = A \cdot s_{\bar{y}} = 2.851 \text{ milj. ha} \cdot 0.555 \text{ m}^3/\text{ha} = 1.582 \text{ milj. m}^3$$

Kokonaiskuution luotettavuusrajoiksi saadaan 47.68 milj. $\text{m}^3 < Y 95 \% < 54.00 \text{ milj. m}^3$.

b) Inventointialueen metsämaan kokonaiskuutioksi saatiin 41.24 milj. m^3 , eli:

$$y = p \cdot A \cdot \bar{y}_{(I)} = 41.24 \text{ milj. m}^3, \text{ jossa}$$

p = metsämaan osuusestimaatti.

$$\bar{y}_{(I)} = \text{metsämaan keskikuutioestimaatti.}$$

Metsämaan kokonaiskuution varianssin estimaattorina voidaan käyttää yhtälöä:

$$v(\bar{y}_{(I)}) = (p^2 \cdot v(\bar{y}_I) + \bar{y}_{(I)}^2 \cdot v_p) A^2 \quad (5)$$

$$= (0.260^2 \cdot 2.6248 + 55.6^2 \cdot 0.00013418) A^2 = \underline{0.5922 A^2}$$

$$= [(0.1774) \quad + \quad (0.4148)] A^2$$

↑
Keskikuutiosta aiheutuva varianssi

↑
Metsämaan osuudesta aiheutuva varianssi

$$s_y = \sqrt{0.5922 A^2} = 0.7695 \text{ m}^3/\text{ha} \cdot 2.851 \text{ milj. ha} = 2.194 \text{ milj. m}^3$$

Metsämaan kokonaiskuution 95 %:n luotettavuusrajoiksi saadaan:

$$36.85 \text{ milj. m}^3 < Y_{(I)} < 45.63 \text{ milj. m}^3$$

Esimerkki 4:n mukaan metsämaan kokonaiskuution luotettavuus on absoluuttisesti mitatunakin selvästi heikompi kuin koko alueen kokonaiskuution. Tämä johtuu siitä, että metsämaan osuuden estimaatti on keskikuution nähdessä varsin epäluotettava (vrt. ed. esitettyjä variansseja). Metsämaan osuusestimaatin suhteellisen huono luotettavuus on Perä-Lapin olosuhteissa varsin ymmärrettävä. Metsä- ja kitumaan raja on luonteeltaan liukuva. Koska kyseisiä maaluokkia on suunnilleen yhtä paljon, esiintyy rypäitten joukossa suhteellisen paljon rajatapauksia, joiden tulkinta maastossakin ja varsinkin ilmakuvilta joko metsä- tai kitumaaksi on sattumanvaraista.

Esimerkki 5. Osa-aluetta koskevan keskikuution varianssin estimointi.

Siirryttäessä koko aluetta koskevista luotettavuuksista estimointiin osa-alueittaisten tulosten tarkkuuksia, tulee eteen joukko uusia ongelmia. Osa-alueittaisia luotettavuuksien estimointeja ei ilmeisesti saada kovin vankalle pohjalle, koska joudutaan tekemään runsaasti oletuksia, joiden paikkansa pitävyyttä on mahdoton tietää. Yksityiskohtaisemmassa tarkastelussa käytetään jälleen hyväksi esimerkkiä, joka tällä kertaa perustetaan oletettuun tilanteeseen (kuva 14).

Ryhmittymen menetelmän mukaisesti jokaisesta osa-alueelle sattuneesta ryhmästä on mitattu maastossa yksi ryvä. Jos vain osa ryhmän rypäistä sattuu osa-alueelle, ryhmästä valittu maas-

Ryhm. yhdist. Group set h	Yhdist. osuus Prop. of the set w_h	Maasto- rypäitä No. of field clusters n_h	Sis. var. Var. with. $s_{y \cdot x}^2$	Keski- arvo Mean \bar{y}_h	$\frac{w_h^2 s_{y \cdot x}^2}{n_h}$	$w_h \cdot (\bar{y}_h - \bar{y}_{st})$	Ryhmäyhdistelmän selitys (tulkki, maaluokka maastossa) Description of group set (interpreter, land class in field)
1	0.2854	57	385	49	0.55017	11.69	I
2	0.7146	166	673	58	2.07030	4.83	2, II
Yht.	1.0000	223			2.6205	16.52	

$$n' \text{ (metsämaa, forest land) } = 3753 \quad v(\bar{y}_{st}) = 2.6205 + 0.0044 = 2.6249$$

$$16.52/3753 = 0.0044$$

$$s(\bar{y}_{st}) = \sqrt{2.6249} = 1.620$$

Taulukko 7. Varianssin estimointi metsämaan keskiarvolla.
Table 7. Estimation of variance for mean volume of forest land.

Kuva 14. Sadan ilmakuvarypään muodostama kuviteltu osa-alue (esim. yhden ilmakuvan rypäiden edustama alue $\sim 144 \text{ km}^2$). Numerot merkitsevät ryhmää, johon ko. ryväs kuuluu.

9	5	1	8	0	8	2	2	8	0
6	1	1	1	1	2	1	8	6	6
1	6	1	5	9	1	2	6	1	1
1	6	6	5	0	9	0	6	5	1
6	6	2	7	5	5	6	3	5	5
2	2	7	0	7	1	6	7	7	5
7	7	1	6	7	6	9	1	9	8
7	2	2	6	7	7	5	5	3	7
2	4	4	1	1	3	1	5	7	7
4	4	4	3	5	3	5	5	7	1

Olettamuksia ja merkintöjä:

Ryhmä	Rypäitä osa- alueella	Rypäitä ryhmässä	Maasto- rypään kuutio
k	n'_{jk}	n'_k	y_k
0	5	20	70
1	20	20	100
2	10	20	40
3	5	20	70
4	5	20	50
5	15	20	20
6	15	20	30
7	10	20	10
8	5	20	00
9	10	20	10

toryväs voi olla joko osa-alueella tai sen ulkopuolella. Kuvan 14 osoittamassa tilanteessa kaikissa ryhmissä on oletettu olevan 20 ryvästä. Mikäli maastorypäiden jakaantuminen olisi tasainen yli koko alueen, sattuisi osa-alueelle 5 maastoryvästä (= $100/20$). Koska alueella on rypäitä 10 ryhmästä, osa-alueetta koskevat tulokset perustuvat itse asiassa 10:een maastossa mitattuun rypäeseen eikä vain 5:een. Tällaisissa osa-alueita koskevissa tapauksissa suositellaan tässä sovellettavaksi seuraavaa yhtälöä, joka vastaa merkinnällisiä poikkeuksia lukuunottamatta aikaisemmin sivulla 25 esitettyä yhtälöä 4:

$$v_{\bar{y}_j} = \sum_k^m w_{jk}^2 \frac{s_{y \cdot x_k}^2}{n_k} + \frac{1}{n'_j} \sum_k^m w_{jk} (\bar{y}_{jk} - \bar{y}_j)^2, \quad (6)$$

jossa

$v_{\bar{y}_j}$ = osa-alueen j keskikuutioestimaatin (m^3/ha) varianssi

- m_j = niiden ryhmien lukumäärä, jotka sattuvat kokonaan tai osittain osa-alueelle j
- w_{jk} = ryhmää k ja osa-alueetta j olevan pinta-alan osuusestimaatti osa-alueen koko pinta-alasta
- $s_{y \cdot x_k}^2$ = ryhmän sisäinen varianssi, joka on saatu ryhmäyhdistelmästä, johon ryhmä k kuuluu
- n_k = ryhmästä k valittujen maastorypäiden lukumäärä (= 1)
- n'_j = osa-alueelle j sattuneiden ilmakuvarypäiden lukumäärä
- \bar{y}_{jk} = osa-alueelle j kokonaan tai osittain sattuneen ryhmän maastorypäiden kuutiomäärä (m^3/ha)
- \bar{y}_j = osa-alueen j keskikuutioestimaatti.

Jotta kuvan 14 esimerkkitalanteelle voitaisiin laskea edellä esitettyllä yhtälöllä varianssiestimaatti, tehdään vielä seuraavat oletukset, joiden perusteella on laadittu taulukko 8.

Taulukko 8. Osa-alueen koko pinta-alaa koskevan keskikuution luotettavuuden estimointi.

Ryhmä- yhdistelmä h	Ryhmä k	Osuus w_{jk}	Maastoryp.kpl n_k	Sis. vari- anssi $s_{y \cdot x_k}^2$	\bar{y}_{jk}	$\frac{w_{jk}^2 \cdot s_{y \cdot x_k}^2}{n_k}$	$w_{jk} \cdot (\bar{y}_{jk} - \bar{y}_j)^2$
1	0	0.05	1	500	70	1.25	36.45
1	1	0.20	1	500	100	20.00	649.80
1	2	0.10	1	500	40	5.00	0.90
1	3	0.05	1	500	70	1.25	36.45
1	4	0.05	1	500	50	1.25	2.45
2	5	0.15	1	200	20	4.50	79.35
2	6	0.15	1	200	30	4.50	25.35
2	7	0.10	1	200	10	2.00	108.90
3	8	0.05	1	000	00	0.00	92.45
3	9	0.10	1	000	10	0.00	108.90
		1.00	10			39.75	1141.00

Ryhmä- yhdistelmä h	Yhdistelmään ja osa- alueelle kuuluvat ryhmät	Yhdistelmän sisäinen va- rianssi $s_{y \cdot x}^2$
1	0, 1, 2, 3 ja 4	500
2	5, 6 ja 7	200
3	8 ja 9	000

Taulukon mukaan osa-alueen keskikuutioksi, keskikuution varianssiksi ja hajonnaksi saadaan:

$$\bar{y}_j = \sum_k^m w_{jk} \cdot \bar{y}_{jk} = 43.0$$

$$v(\bar{y}_j) = 39.75 + 1141.00/100 = 51.16$$

$$s(\bar{y}_j) = \sqrt{51.16} = 7.15$$

Jos varianssin estimointi olisi perustettu ainoastaan niiden maastorypäntien varaan, jotka sattuvat osa-alueelle, olisi estimaatti saatu huomattavasti suuremmaksi ja todennäköisesti selväksi yliarvioksi. Esimerkissä käytettiin 10 maastorypäntä. Mikäli niiden sijasta olisi käytetty vain 5 maastorypäntä, olisi varianssiestimaatti saatu lähes kaksinkertaiseksi. Tämä osoittaa, että ryhmitysmenetelmän tehokkuus

pelkkään maasto-otantaan perustuvien menetelmien suhteen saattaa kasvaa huomattavasti siirryttäessä osa-alueisiin.

54. Vertailu III inventoinnin tuloksiin

Tulosten vertailu edellyttää sama-alueisuutta. Valtakunnan metsien III inventoinnissa ei ole laskettu tuloksia Inarin, Utsjoen ja Enontekiön kuntien muodostamalle Perä-Lapin alueelle. Vertailuun voidaan käyttää kuitenkin Jäämeren päävesistöalueen tuloksia, koska kyseinen alue poikkeaa vain vähän (+ 8.2 %) Perä-Lapin alueesta. Vertailua varten on katsottu voitavan olettaa, että alueiden ei-yhteinen osa ei eroa luonteeltaan merkittävästi yhteisistä. Tähän perustuen Jäämeren vesistöalueen tulokset (ILVESSALO 1957) on muunnettu vastaamaan Perä-Lapin aluetta kertomalla ne pinta-alasuhteella 0.924. Vastintulokset tärkeimmiksi katsottujen tunnusten osalta on esitetty taulukossa 9.

Inventoinneissa maaluokkien määrittelyperusteet ovat erilaiset (vrt. ILVESSALO 1951, s. 16 ja KUUSELA and SALMINEN 1969, s. 19–20). On kuitenkin vaikea päätellä, onko nimen-

Taulukko 9. Ryhmittymenelmällä saatu tulosten (1970) vertailu III inventoinnin tuloksiin (1953).

Inventointi	Pinta-ala \times				Kokonaiskuutio				Kokonaiskasvu			
	I	II	III	I-IV	mä	ku	lp	yht.	mä	ku	lp	yht.
	1000 ha				milj. m ³ (kuorineen)				milj. m ³ (kuorineen)			
1953	804	480	1567	2851	39.3	3.9	7.6	50.8	0.54	0.06	0.20	0.80
1970	742	746	1363	2851	40.8	1.2	8.8	50.8	0.55	0.02	0.28	0.85

\times maaluokittain; vertailtavien inventointien maaluokan määrittelyperusteissa on eroavuutta, jonka merkitystä ei tarkalleen tunneta.

omaan Perä-Lapin alueella vuosien 1953 ja 1970 maaluokkien I–III määrittelyssä olevat erot vaikuttaneet merkittävästi ko. taulukkoarvojen vertailukelpoisuuteen.

Taulukon mukaan metsämaan pinta-ala on v. 1970 saatu 7.7 % pienemmäksi. Tämä ero voidaan hyvin selittää otantavirheillä. Pelkästään v:n 1970 inventoinnissa variaatiokerroin $C_v = 4.32\%$ (s. 25). Lisäksi Perä-Lapissa on huomattava määrä alueita, joiden kohdalla metsämaan arviointi ei ole täysin eksaktia maastossakaan. Tämä merkitsee, että saman kohteen maaluokan arvioinnissa saattaa tulla vaihtelua, kun arviointia tekevät eri henkilöt ja/tai sitä tehdään eri aikoina huolimatta siitä, että määrittelyperusteet olisivatkin samat.

Maaluokka II kohdalla erot ovat huomattavasti suuremmat. Osa erosta selittyy maaluokan I kohdalla saadusta erosta. Tulosten perusteella tuntuu todennäköiseltä, että osa 1953 inventoinnin joutomaista (ml. III) olisi vuoden 1970 inventoinnissa arvioitu kitumaiksi (ml. II), jolloin maaluokan II lukujen eroa voitaisiin selittää myös arviointiperusteiden erilaisuudella. Tällöin maaluokan III pinta-alatulosten voidaan katsoa vastaavan toisiaan varsin hyvin.

Perä-Lapin kokonaiskuutio on kummassakin inventoinnissa saatu täsmälleen yhtä suureksi. Kun inventointien välisten hakkuiden ja kasvun merkitystä voidaan pitää vähäisenä, vertailu antaa tuloksille lisää luotettavuutta. Kokonaiskuutioon jakaantumisessa puulajeihin on huomattavin ero kuusen kohdalla. Kun kuusen osuus on pieni ja kuusi esiintyy yleensä metsikköinä eikä tasaisesti levinneenä sekapuuna, on

ero todennäköisimmin tulkittavissa johtuvaksi otantavirheistä eikä kuusen määrän vähentymisestä. Ainakaan tuoreita kuusen hakkuita ei otantakohdissa ollut havaittavissa.

Koivun kuten männynkin kuutiomäärä on saatu aikaisemman inventoinnin määrää suuremmaksi. Nämä lisäykset ovat selitettävissä otantavirheillä. Tulos koivuvarojen muuttumattomuudesta on mielenkiintoinen sikäli, että sen perusteella laajoilla inventointien välille sattuneilla tunturimittarituhoilla ei ole ollut vaikutusta inventoitujen koivuvarojen määrään. Todennäköisesti tuhot ovat koskeneet lähinnä joutomaakoivikoita, joiden kuutiomääriä inventoinneilla ei arvioida.

Taulukon 9 tiedoista on laskettavissa, että männyn kuutiokasvusadannes oli vuonna 1970 98 % vastaavasta vuoden 1953 sadanneksesta. Alueelta kerättiin myös erikoisaineisto kasvuideksien määrittämiseksi. Sen perusteella todettiin, että kasvunlaskentakauden 1965–1969 kasvuideksi oli 93 % vastaavasta 1948–1952 indeksistä eli 7 % pienempi. (Laskelmat on suorittanut metsät.yo. URPO NIKUNEN vuonna 1971 laudaturtyötään varten.) Tämän tarkastelun perusteella männyn kasvu on saatu vuoden 1953 inventoinnissa hiukan liian pieneksi tai vuoden 1970 inventoinnissa vastaavasti liian suureksi. Koivun kohdalla kasvu on saatu 1970 inventoinnissa sekä absoluuttisesti että suhteellisesti huomattavasti suuremmaksi kuin vuonna 1953. Suhteellinen ero oli 21 %. Osaselitykseksi voidaan esittää tunturimittarituhoja, jotka todennäköisesti ovat lisänneet jäljelle jääneiden koivujen kasvua mm. lannoitusvaikutuksensa

kautta. Koivujen ansiosta kokonaiskuution kasvu on saatu 1970 noin 6 % vuoden 1953 kasvua suuremmaksi.

55. Yleisiä näkökohtia

Ryhmittymenettelyn käytön perusedellytyksiä on, että ensimmäisen ja toisen vaiheen vastinnäyteyksiköiden kesken vallitsee riittävä korrelaatio. Mikäli Perä-Lapin olosuhteissa inventointitulosten luotettavuutta halutaan lisätä kokonaiskustannuksia lisäämättä eli parantaa menetelmän tehokkuutta, tulisi ensimmäiseksi tehtäväksi ilmeisesti yrittää parantaa ilmakuvatulkintojen ja maastotarkistusten välistä vastaavuutta.

Jos korrelaatiokerroin saadaan nousemaan esim. 0.72:sta 0.82:een, vähentyisivät ryhmien sisäiset varianssit noin 32 %:lla. Tehokkuus kasvaisi huomattavasti, mikäli kuvatulkintojen tarkkuuden lisäys onnistuttaisiin tekemään vain vähäisellä kustannusten lisäyksellä. Kuvatulkinnan optimointi vaatisi olemassa olevien vaihtoehtojen kustannus- ja hyötyanalyysiä. Tärkeitä osaratkaisuja ovat tulkitsijan koulutus ja sopivan kuvamateriaalin valinta.

Perä-Lapissa käytettyä ryhmittymenettelyn soveltamistapaa arvosteltaessa tulisi kuvatulkinnan lisäksi ottaa huomioon myös ilmakuvarypäiden sijoitus, ilmakuvarypäiden ryhmittäminen, maastokoealojen keskittäminen ja ilmakuva- ja maastorypäiden lukumäärien suhde. Seuraavassa käsitellään näistä kahta aineistoista helpoimmin tutkittavissa olevaa tekijää.

Ilmakuvarypäiden ryhmittämisessä optimaalisuuteen pyrkiminen merkitsee sitä, että ryhmät pyritään saamaan mahdollisimman homogeenisiksi ja että metsätalouden suunnittelun kannalta tärkeimmistä (esim. metsämaan suurikuu-
tuoisimmista) rypäistä muodostetaan keskimääräistä pienempiä ja vähiten tärkeitä rypäistä (esim. joutomaa) keskimääräistä suurempia ryhmiä. Perä-Lapissa ryhmien keskimääräinen koko oli 23.4 ryvästä. Ryhmien suuruuksiksi maaluokittain saatiin:

metsämaalla	17 = 73 % keskimääräisestä
kitumaalla	24 = 103 % —”—
joutomaalla	31 = 132 % —”—

Ryhmittämisessä jaetut rypäät olivat hankalia. Samalla tavalla jaettuja rypäitä, joissa osien tulkinnat vastasivat hyvin toisiaan, oli niukasti. Tämä pakotti muodostamaan pieniä ryhmiä.

Toinen vaihtoehto olisi ollut hyväksyä ryhmään huomattavaa heterogeenisuutta.

Perä-Lapissa jaettuja rypäitä oli keskimäärin 1/4 (metsämaalla 20 %, kitumaalla 42 %, joutomaalla 17 % ja muilla maaluokilla 29 %). Suoritetut analyysit osoittivat, että maaluokkien kohdalla tapahtuneet tulkintavirheet olivat selvästi yleisimpiä jaettujen rypäiden kohdalla. Näiden suhteellista merkitystä on vähentämässä toinen analyysistä saatu tulos: maaluokaltaan virheellisesti tulkituista rypäistä on muodostettu keskimääräistä pienempiä ryhmiä. Tämä on selitettävissä sillä, että ko. ryhmien rypäät ovat olleet keskimääräistä erikoisempia, jolloin liiallisen ryhmän sisäisen heterogeenisuuden välttämiseksi ryhmän koko on jäänyt pieneksi.

Jaetuista rypäistä 100 (= 0.65 %) ei pystytty ryhmittämään muuta kuin 1–5 rypään homogeenisiin ryhmiin (erikoisryhmät, vrt. s. 12). Näin pienistä ryhmistä ei kannattanut valita maastorypäitä, koska niiden osalta ilmakuva- ja maastorypäiden lukumääräsuhteet olisivat tulleet suhteettoman pieneksi. Käytännössä erikoisryhmien rypäistä etsittiin homogeeniset ryväskuvot ja näille haettiin muista aineistoista mahdollisimman hyvin vastaavia ryhmiä. Näiden ryhmien maastorypäistä saatiin tarvittavat tiedot erikoisryhmien vastaaville ryväskuvioille (kuva 5).

Edullisimman ilmakuva- ja maastorypäiden lukumääräsuhteen määrittäminen on monitahoinen tehtävä. Perä-Lapissa käytetty keskimääräinen suhde 23.4 on tilastotieteen teorian perusteella selvästi liian suuri (ks. esim. COCHRAN 1963, s. 330–332). Samaan päätelmään johtaa esimerkkien 1 ja 2 ryhmien sisäisen ja ilmakuvarypäiden edustavuusvarianssin suhde. Metsämaan osuuden estimoinnissa ilmakuvarypäiden edustavuusvarianssin osuus oli 6.6 % ja koko alueen keskikuution estimoinnissa 11.3 %. Jos keskikuution kohdalla maasto- ja ilmakuvarypäiden kustannussuhde oletetaan 80:ksi ja rypäiden välinen korrelaatiokerroin 0.72:ksi, saadaan oppikirjoissa (COCHRAN 1963, s. 332) esitetyn teorian mukaan optimaaliseksi ryväskukumäärien suhteeksi likimäärin:

$$n'/n = \sqrt{80 \cdot 0.72^2 / (1 - 0.72^2)} = 9.28.$$

Edellä esitetyn optimaalisen lukumääräsuhteen laskentamenettelyn käyttö johtaa todennäköisesti liian pieniin arvoihin, kun ilmakuva- ja maastorypäitä keskitetään ja tulokset halutaan saada mahdollisimman luotettavina myös

pienalueille (vrt. esimerkki 5. s. 26). Maastorypäiden keskittäminen edellyttää, että suhteellisen pienellä alalla on tarpeeksi ilmakuvarypäitä ja että niiden kesken on riittävästi erilaisuutta, jotta niiden joukosta on löydettävissä laajemman alueen ilmakuvarypääryhmiä edustava aineisto. Maastotyön keskittämisen kannalta on siis eduksi, että ryväslukumäärien suhde n'/n on suuri. Peräkkäin sijaitsevien ilmakuvarypäiden etäisyys määrittää luonnollisesti minimivälimatkan maastorypäältä toiselle.

Perä-Lapissa maastotyön keskittämistä helpotti se, että ilmakuvarypäät keskitettiin joka toiselle kuvalle eli noin runsaaseen puoleen koko inventoitavasta pinta-alasta (kuva 2). Yhden ilmakuvan 100 ryvästä edustaa ko. inventointiolosuhteissa varsin tiheää otantaa. Tämä teki kuitenkin mahdolliseksi löytää osa-alueittain 1–2 ilmakuvaa, joiden rypäiden joukosta oli mahdollisuus löytää edustaja jokaiselle tai lähes jokaiselle osa-alueen ryhmälle (vrt. taulukko 1 ja kuva 3).

Ryhmittymenettelällä laskettavat luotettavuustunnukset ovat estimaatteja, joiden luotettavuuteen puolestaan vaikuttaa se, miten hyvin laskelmien perustana käytetyt oletukset pitävät paikkansa. Tärkeimmät oletukset ja niissä olevien virheellisyyksien vaikutussuunnat on koottu seuraavaan asetelmaan.

Olettaus	Inventoitava tunnus	Hajontaestimaatti, jos olettaus on virheellinen
Ryhmät ovat homogeeniset	Pinta-alaosuudet ja kuutiot	Aliarvio
Ryhmäyhdistelmät ovat yhtä homogeenisiä kuin ryhmät	Pinta-alaosuudet	Yliarvio
Korrelaatio on suoraviivainen	Kuutiot	Yliarvio

Virheellisyydet luotettavuusestimaattien laskennassa käytetyissä olettamuksissa vaikuttavat eri suuntiin ja siten kumoavat toistensa haittoja. Yleensä ko. virheellisyyksien haitalliset vaikutukset eivät liene merkityksellisiä. Mikäli niin kuitenkin epäillä olevan, virheellisyydet pitäisi tutkia ja ottaa luotettavuuden estimoinnissa huomioon.

Ryhmittymenettelässä kuvatulkinnan systemaattisilla virheillä ei ole vaikutusta tulosten luotettavuuteen. Sen sijaan tarkkuuden estimointia ne vaikeuttavat ja saattavat johtaa tarkkuuden aliarvioitumiseen lähinnä sen kautta, että ryhmäyhdistelmien homogeenisuus laskee. Esimerkiksi ryhmäyhdistelmässä 2 (esimerkki 1, s. 24) on mukana systemaattisista virheistä aiheutuvaa varianssia. Sitä olisi voitu välttää ottamalla huomioon taulukosta 4 ilmenivät systemaattiset poikkeamat ja käyttämällä ryhmäyhdistelmien muodostamiseen myös muita kasvupaikan laatua selittäviä kuvatulkinnoja kuin maaluokka (kasvupaikan ravinteisuus, kosteus, kivisyys ja kuivatusaste).

LOPPUPÄÄTELMÄT

Metsien suurinventoinneissa on Suomessa samoin kuin muissakin Pohjoismaissa käytetty perinteellisesti systemaattisia, pelkkään maasto-otantaan perustuvia arviointimenetelmiä. Ilmakuvia on totuttu käyttämään lähinnä vain metsäalueiden kartoituksessa. Kuvatulkinnan soveltamista pienalueiden inventoinnissa on kokeiltu ja sillä on ollut käytännöllistä merkitystä Ruotsissa. Edessä olevat teknillistä kehitystä ja palkkakustannuksia koskevat näkymät antavat aiheen uskoa, että Pohjoismaissakin siirrytään ainakin jossakin määrin soveltamaan myös suurinventoinneissa menetelmiä, joilla kuvatulkintaa lisäämällä pystytään maastotyön tarvetta vähentämään.

Pohjois-Amerikassa ja useissa trooppisissa maissa kuvatulkintaa on käytetty yleisimmin luokitukseen perustuvan kaksivaiheisen otantamenetelmän soveltamisen yhteydessä. Inventoinneille asetettujen vaatimusten erilaisuuden takia ko. kuvatulkinnan ja kaksivaiheisen otannan soveltamismenetelmät eivät ole täysin tyydyttäviä Pohjoismaiden olosuhteissa, missä inventoinneista halutaan huomattavasti eritellympiä tietoja ja usein pinta-alaluokille ja maantieteellisille yksiköille, joita inventoinnin suunnitteluvaiheessa ei pystytä määrittelemään. Tällaisia olosuhteita varten kehitettiin uusi kaksivaiheisen otannan soveltamistapa, ns. *ryhmittymenetelmä*. Sen yleiselostus on tehty työvaiheittain luvussa 2.

Uusien menetelmien tai menetelmäsovellusten kohdalla kiinnostaa erityisesti niiden vertailut muihin vaihtoehtoisin menetelmiin. Vertailuja varten tulisi käytettävien perusteiden olla tiedossa ja niiden keskinäinen merkitys tulisi kyetä punnitsemaan. Vertailuperusteina voivat esim. olla työvoiman määrän ja ammattitaidon tarve, joustavuus töiden järjestelyssä ja laskennassa ja otantateoreettinen tehokkuus. Lisäksi pitäisi tarkalleen tietää, minkä tunnuksien inventoinneista on kysymys ja miten eri tunnuksia koskevat tulokset pystytään hinnoittamaan tarkkuuden suhteen. Kun yleisesti hyväksyttävää inventointimenetelmien kokonaisvertailua koskevaa perusteistoa ei ole ja sen kehittäminen näyttää suuritöiseltä tehtävältä, tyydytään tässä vain muutamien erillisten vertailupäätelmien tekemiseen. Tärkeimpänä ryhmittymenetelmän vertailukohteena on luonnollisesti lähinnä vaihtoehtoinen menetelmä, Perä-Lapin tapauksessa systemaattiseen maasto-otantaan

perustuva menetelmä, jota käytettiin muulla osalla Suomea V metsien valtakunnallisessa inventoinnissa.

Maastotyövoimaa tarvitaan vähemmän, kun sovelletaan ryhmittymenetelmää eikä systemaattista maasto-otantaa. Kuvien hankinta, järjestelytehtävät ja ennen kaikkea kuvien tulkinta lisäävät ryhmittymenetelmän soveltamisessa tarvittavaa työvoiman määrää. Palkkamenojen lisäksi ryhmittymenetelmässä aiheutuu kustannuksia ilmakuviin hankinnasta, näiden osuus asettunee 5–20 %:n rajojen sisäpuolelle inventoinnin kokonaiskustannuksista. Perä-Lapin kohdalla kustannusten analysointi johti seuraavaan erittelyyn:

	mk	%
ilmakuviin hankinta	7 000,—	10.8
rypäiden tulkinta	12 000,—	18.4
lävistys	2 000,—	3.1
ryhmittymä	2 000,—	3.1
maastotyö	42 000,—	64.6
yhteensä	65 000,—	100.0

Jos inventointi olisi suoritettu systemaattisella maasto-otannalla, kuten tehtiin muulla osalla Lappia, alueelle olisi tullut 248 lohkoa. Kun yhden lohkon maastotöistä aiheutuviksi kustannuksiksi arvioidaan 350 mk, saadaan kyseessä olevaa inventointialuetta vastaaviksi maastotyön kokonaiskustannuksiksi 86 800,—. Tämä merkitsee, että ilmakuvia käyttämällä päästiin noin 25 % edellä esitettyä arviota pienemmällä kustannuksilla. Menetelmien tehokkuusvertailua ei edellä esitetyn kustannusvertailun perusteella voida tehdä, koska menetelmillä saatujen tulosten luotettavuuksien suhteita ei ole tutkittu.

Joustavuus töiden järjestelyssä on usein tärkeä tekijä varsinkin, kun kysymyksessä on jatkuva inventointityö ja siihen käytetään pysyvästi palkattua henkilökuntaa. Kun ryhmittymenetelmällä varsinaista tietojen keruuta voidaan kuvatulkinnan muodossa suorittaa myös talvella, on ko. menetelmää pidettävä selvästi joustavampana kuin pelkkään maastokeruuseen perustuvaa systemaattista otantaa. Toiseksi ryhmittymenetelmä on joustavampi, koska maastotyön määrää ja samalla laskettavien tulosten tarkkuutta voidaan helposti tarkkailla ja muuttella vielä kenttätökauden alettua kuten tehtiin Perä-Lapissa (s. 12). Kolmas ryhmittymenetelmän suurempaa joustavuutta osoittava tekijä on, että päiväurakat voidaan suunnitella esim.

maastotyötä edeltävänä iltana. Sama koskee myös kulkureittien valintaa, jolloin teistä ja poluista saadaan suurin hyöty ja vaikeita kulkuesteitä voidaan välttää.

Laskennallisesti ryhmittymismenetelmä on erittäin joustava samoin kuin periaatteessa systemaattinen maasto-otantakin, jos siinä näyte- ja laskentayksiköksi käsitetään yksittäinen koeala tai vastaava. Käytännössä ryhmittymismenetelmä antaa mahdollisuuden laskea kuutiomääriä pienemmille maantieteellisille osa-alueille. Sen sijaan metsämaan sisäisten luokkien keskitunnusten kohdalla tilanne on tavallisesti päinvastainen.

Otantateoreettisen tehokkuuden vertailua varten täytyisi tietää menetelmien käytöstä aiheutuvat kokonaiskustannukset ja otosvarianssit. Jos kokonaiskustannukset ovat yhtä suuret, pienempää otosvarianssia osoittava menetelmä on tehokkaampi. Suonenjoelta kerättyjen aineistojen perusteella laskettujen ennakkotulosten perusteella näyttää siltä, että ryhmittymismenetelmä on selvästi tehokkaampi kokonaiskuution

ja metsämaan pinta-alaosuuden inventoinnissa. Tehokkuuksissa ei ole paljon eroa metsämaan keskikuution inventoinnin kohdalla. Muiden metsämaan sisäisten tunnusten kohdalla (esim. keskikuutiot kasvupaikkaluokittain) systemaattinen maasto-otanta on selvästi tehokkaampi.

Perä-Lapin inventointi oli ryhmittymismenetelmän ensimmäinen laaja kokeilu. Saadut kokemukset osoittavat menetelmän toimintakelpoiseksi. Vertailu systemaattiseen maasto-otantaan tuo esille yksityiskohdissaan suurta menetelmien välistä vaihtelevuutta: tietyissä kohdin ryhmittymismenetelmä on parempi, toisissa taas huonompi. Tämä tilanne viittaa siihen, että erillisten menetelmävaihtoehtojen lisäksi kannattaa ottaa harkittavaksi menetelmien yhdistelymahdollisuus. Edullisuuspäätelmien teko vaatisi eri tunnusten inventointitarpeen tai -hyödyn tutkimista erilaisissa inventointitilanteissa. Kullakin inventoinnille voitaisiin sitten määrittää yksityiskohtaiset tavoitteet, joiden suhteen menetelmän edullisuus on arvioitavissa.

- AXELSSON, H. & MÖLLER, S. G. 1952. Studier av möjligheten att bestämma några skogliga faktorer med hjälp av mätning i flygbilder. Nämnden för skoglig fotogrammetri Skrift nr. 8 (381–446).
- BICKFORD, C. A. 1952. The sampling design used in the forest survey of the Northeast. *Journal of Forestry* 50.4 (290–293).
- BICKFORD, C. A. & MAYER, C. E. & WARE, K. D. 1963. An efficient sampling design for forest inventory: the northeastern forest resurvey. *Journal of Forestry* 61.11 (826–833).
- COCHRAN, W. G. 1963. Sampling techniques. John Wiley & Sons, Inc. New York – London – Sydney s. 413.
- ILVESSALO, Y. 1948. Pystypuiden kuutioimis- ja kasvunlaskentataulukot. Helsinki.
- ILVESSALO, Y. 1950. On the correlation between the crown diameter and the stem of trees. *Seloste: Puiden latvuksen läpimitan ja rungon välisestä riippuvaisuussuhteesta*. MTJ 38.2 (1–32).
- ILVESSALO, Y. 1951. III valtakunnan metsien arviointi. Suunnitelma ja maastotyön ohjeet. Summary: Third National Forest Survey of Finland. Plan and instructions for field work. MTJ 39.3 (1–67).
- ILVESSALO, Y. 1957. Suomen metsät päävesistöalueittain. Valtakunnan metsien inventoinnin tuloksia. Summary: The forests of Finland by the main water system areas. Results of the national forest inventory. MTJ. 47.4 (1–87).
- ILVESSALO, Y. 1965. Metsänarvioiminen. Werner Söderström Osakeyhtiö, Porvoo – Helsinki, 400 s.
- KOIVISTO, P. 1965. On the systematic error in basal area caused by digression from the survey line. *Seloste: Arvioimislinjan polveilun aiheuttama systemaattinen virhe pohjapinta-alassa*. MTJ 60.5 (1–11).
- KUUSELA, K. & SALMINEN, S. 1969. The 5th national forest inventory in Finland. General design, instructions for field work and data processing. MTJ 69.4 (1–72).
- KUUSELA, K. & SALOVAARA, A. 1971. Kainuun, Pohjois-Pohjanmaan, Koillis-Suomen ja Lapin metsävarat vuosina 1969–1970. Summary: Forest resources in the Forestry Board Districts of Kainuu, Pohjois-Pohjanmaa, Koillis-Suomi and Lappi in 1969–1970, *Folia Forestalia* 110 (1–49).
- NYYSSÖNEN, A. 1954. Kuutiomäärän arvioiminen relaskoopin avulla. Summary: Estimation of stand volume by means of the relascope. MTJ 44.6 (1–31).
- NYYSSÖNEN, A. 1955. On the estimation of the growing stock from aerial photographs. *Seloste: Puuston arvioimisesta ilmakuvien avulla*. MTJ 46.1 (1–57).
- NYYSSÖNEN, A. 1967. Remeasured sample plots in forest inventory. *Meddelelser fra Det Norske Skogforsöksvesen* 84.22 (193–220).
- NYYSSÖNEN, A. & POSO, S. 1962. Koe metsikköluokitusten suorittamiseksi ilmakuvien avulla. Summary: Tree stand classification from aerial photographs; an experiment. *Silva Fennica* 112.3 (1–16).
- NYYSSÖNEN, A. & POSO, S. & KEIL, C. 1968. The use of aerial photographs in the estimation of some forest characteristics. *Seloste: Ilmakuvien käyttö eräiden metsän tunteusten arvioimisessa*. AFF 82.4 (1–35).
- POSO, S. 1969. Ilmakuvat metsätilojen inventoinnissa. *Metsä ja Puu* 7–8 (28–29).
- POSO, S. & KEIL, C. & HONKANEN, T. 1968. Comparison of film-scale combinations in examining some stand characteristics from aerial photographs. *Seloste: Eri filmi-mittakaavayhdistelmät eräiden metsikkötunnusten ilmakuvatulkinnassa*. *Folia Forestalia* 53 (1–22).
- SANDBERG, B. 1961. Något om noggrannheten av virkesförråds – och bonitetsbestämningar vid okulärbedömning i fält och vid tolkning av flygbilder. Nämnden för skoglig fotogrammetri 16 (1–17).
- SANDBERG, B. 1963. Provytetaxering i flygbilder med jämförande fältkontroll. Nämnden för skoglig fotogrammetri 21 (1–34).
- TÖRNSTRÖM, I. 1960. Vissa erfarenheter av flygbilder i samband med enklare skogsuppskattningar. Nämnden för skoglig fotogrammetri 14 (1–20). Stockholm.

LYHENNYKSET – ABBREVIATIONS

AFF = Acta Forestalia Fennica

MTJ = Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja

SUMMARY

A TWO-PHASE FOREST INVENTORY METHOD BASED ON PHOTO AND FIELD PLOT SAMPLINGS AS APPLIED IN NORTHERNMOST LAPLAND

In Finland, as in the other Nordic countries, the national forest inventories have traditionally been based on systematic field samplings. Aerial photographs have been used only as substitutes for maps and in some experiments on the substitution of direct photo interpretation for field work in areas where access is difficult.

The methods of double sampling for stratification (e.g. COCHRAN 1963, pp. 327–334) have been tested under Finnish conditions by NYYSSÖNEN et al. (1968). The results have not justified a direct recommendation of the method for general use. However, it is clear that trends in technical development and social change are working to the advantage of aerial photographs, which means that keen attention should be directed to the possibilities related to using aerial photographs. Also it can be expected that some potentially efficient methods which have not yet been fully detected may be applied to the use of aerial photographs. So, if suitable methods are applied and work is done by well-trained and skillful personnel, the use of aerial photographs in forest inventories could perhaps prove to be highly advantageous, under Finnish conditions as well as elsewhere.

Most difficulties connected with the application of normal double sampling for stratification to national forest inventories in Finland are caused by the need for very detailed information. Parameters like total volume of the growing stock, area of forest land, and the growing stock of forest land are regarded as very important, but they comprise only a rather small part of all required information. The users of inventory data call also for attributes such as stumps, regeneration conditions, and drainable swamps. Stratification based equally on all the characteristics regarded as important is difficult, which seriously handicaps application of the double sampling technique for stratification. Another difficulty arises from the fact that in planning the inventory all the area units and subsets for which the results should be calculated cannot be anticipated. Given these requirements, double sampling for stratification might prove to be too inflexible.

In order to eliminate or at least diminish the difficulties mentioned above in the use of aerial photos for forest inventories, a new design of double sampling was derived and tested at the Laanila Experiment Station in Lapland. The method uses a large number of photo-interpreted plots in the first phase. Then the plots are classified into as homogeneous groups as possible with respect to all photo-interpreted characteristics. In the second phase, one plot from each group is selected at random for measurement in the field. The second phase sample consists of these field-measured plots.

After the field work is completed, the data is calculated separately for each field-measured plot so as to permit direct usage in the final computations. This means that every field plot is supplied with characteristics such as cubic volume by tree species, description (classification) of the stand or stands on which the plot is located, and the data from the tree tally (which means that for each tallied tree species the tree-quality class and dbh is recorded). The characteristics on the field plots is then expanded to encompass all the photo plots; i.e. the data from one field plot is transferred to every photo plot of the group from which the field plot was selected. Such data as geographical coordinates, codes for commune, parish and township, ownership, and altitude above sea level can be obtained directly from maps for each photo plot. The outcome of this procedure is that every photo plot is supplied with formally complete data. This makes it possible to treat each photo plot as a separate data unit in the final computations, thus permitting the greatest computational flexibility.

Another advantage of the design in addition to computational flexibility is that the groups are small as compared with the strata of double sampling for stratification. This means that the groups can be constructed somewhat more homogeneously and that the variances within groups can be expected to be smaller than in double sampling for stratification.

In inventory work, the attributes of interest which cannot be interpreted from aerial photos with sufficient precision cause a problem which

probably cannot be solved by any means other than through additional field work. These kinds of attributes may be, for example, some types of diseases, the quality of seedlings and open areas, stand ages, etc.

In the light of theoretical considerations and the results of the experiment in Laanila, the design appeared to be feasible. It was decided to use it as a part of the Fifth National Forest Inventory in the northernmost part of Lapland, an area consisting of about 3 mill. hectares (6.75 mill. acres) comprising three communes: Inari, Enontekiö and Utsjoki (Fig. 1, p. 8). The method described above and now applied was called the *grouping method*, which refers to one operation of the design.

The application of the grouping method to the calculation of estimates such as area proportions and volumes of growing stock was simple. In Lapland the completed data for every photo plot, which in reality was a cluster consisting of two relascope (variable) plots 40 metres apart, was recorded on magnetic tapes. Thereafter the results were easily calculated for any area class and subset. As examples some results have been published in Tables 2 (p. 19) and 3 (p. 21) for the area classes defined in Fig. 12 (p. 20).

The aerial photos used were black-and-white prints at scale of 1:60 000 (Fig. 3, p. 10). The photography was done by the Defence Forces at an altitude of about 9 500 metres. The photo plots were located on the photos by a photographic procedure according to a standard model (Fig. 3). The location of photo plots was thus standardized for each photo (1.2 km ground distance from plot to plot). The photo net on which the photo plots were photographed is presented in Fig. 1. The resulting net of photo plots over the entire area is seen as a model in Fig. 2 (p. 9).

The total number of photo plots was 15,441. They were interpreted from stereoscopic pairs using lens stereoscopes with a magnification of 2.8, field-measured stereograms from the Laanila district, and forest maps with complementary stand-description records for the areas managed by the National Board of Forestry. The interpretations were made by two foresters (one with a master's degree, the other with a bachelor's), both of them experienced group leaders from the national forest inventory. One of them was very familiar with conditions in Lapland; the other had never visited the area.

The interpretations were recorded as codes on sheets. The following characteristics were included: a) on the basis of maps: geographical location of the center of the photograph containing photo plots, commune, ownership category, water-course area, climatic region, altitude above sea level; b) on the basis of aerial photos: form and inclination of landscape, land-use class, basal area (m^2/ha), mean height (m), volume of growing stock ($10 \text{ m}^3/\text{ha}$), treatment class, and site characteristics. If the land-use class was poorly productive forest land or waste land, fewer characteristics were interpreted from the aerial photos. On other land-use classes (agricultural land, communication routes, water, etc.), only the code for land-use class was recorded. If the plot was on or near the borderline of two or more types of land use, the plot could be divided into parts, the sum of which was kept constant.

The codes for the photo plots were entered on punch-cards. These were sorted into 659 homogeneous groups by sub-areas, which are denoted by the dotted lines in Fig. 1 (p. 8). One plot was drawn from each group by restricted random sampling using a computer in order to get one field plot for each group and to have the field plots concentrated on only one or two aerial photographs per sub-area (the circled crosses in Fig. 1).

A significant result was that transferring the plot from the aerial photo to the ground could be done in a suitably short time and with sufficient accuracy. Usually it was easy to find some distinguishable detail of figure formed by individual trees close to the plot. A compass proved to be a very practical instrument for finding the required details in the field. The positioning of the field plots was at ground level, i.e. if the point seen on the photo fell on the tree top, the radial distortion was taken into account (Fig. 6, p. 13).

The main part of the theoretical difficulties in applying the grouping method arose in connection with the calculation of confidence limits. The estimators for double sampling for stratification were not directly applicable because from each group (substitute for stratum) only one second-phase unit (field plot) was selected. Thus, the estimation of variance within groups was not possible. To overcome this difficulty, the groups were divided into "group sets". The sets were constructed individually for each characteristic, the variance of which

was under estimation. In this way, the group sets were homogeneous enough for estimating variance for area proportions (e.g. for a proportion of forest land) by treating the group sets as strata (Table 5, p. 24).

The procedure used for area proportions was not felt to be applicable when the variance of volume was to be estimated. The assumption of the variance within groups and within group sets being equal resulted in a distinct over-estimation of the variance. Therefore the variance within the groups was estimated inside the group sets by means of a regression line. The field-measured volumes of a group set were fitted by regression line to the photo-interpreted volume of the respective plots. Since the variances of groups were assumed to be equal by group sets, this variance could be estimated as the unexplained variance of the regression line of a group set (Fig. 13, p. 22). The estimated variances are presented, for mean volume of total land area in Table 6 (p. 26) and for mean volume of forest land in Table 7 (p. 28).

Variances concerning geographical sub-districts are rather complex in character. This is related to the fact that the photo plots of a group may belong only partly to the sub-district; the rest being outside the area. Because of the concentration of field plots on only a few photographs, it is easy to imagine a situation in which no field plots are measured on the sub-districts subject to special interest. However, using the grouping method the inventory results can be easily calculated on such sub-districts, too. For these cases, it is suggested that all field plots of the groups which are represented in the sub-district should be taken into account when calculating the variance estimates.

A comparison of the inventory results with results achieved in an inventory in 1953 showed in general good correspondence. The area of forest land was estimated to be 7.7 % smaller in 1970 than in 1953. In Lapland this difference may be regarded as small because the percentages of productive and poorly productive forest land are almost equal, and the borderline between the land classes is often difficult to estimate in the field. The total volume of the growing stock was estimated to be exactly the same (50.8 mill. m³). The main difference between the results was in the volume of spruce. The 1953 estimate was 3.9 mill. m³ while in

1970 it was 1.2. It seems probable that this difference should be regarded as due mainly to sampling error.

The grouping method as it was applied in Lapland proved to work well. The use of aerial photos was found to be a practical means of selecting the field plots for the next day's field work by getting the maximum benefit from roads, paths, etc. and in avoiding the difficult obstacles in traveling from one plot to another.

In the calculation of the results, the grouping method was very flexible. In addition, the method could be regarded as very flexible also with respect to the labor arrangements. When using full-time employees, the photo interpretations can be done advantageously during the long season (7–8 months) when field work is not considered to be feasible.

If the inventory was performed by systematic tract sampling as in the southern part of Lapland, the area would have required some 248 tracts costing about 350 Fmk each. Consequently, the total cost of the field work would have been 86,800 Fmk. The corresponding cost of using the grouping method was estimated at 65,000 Fmk (about 75 % of the former), consisting of the following items:

aerial photographs	7,000:—
interpretation	12,000:—
punching	2,000:—
grouping by sorter	2,000:—
field work	42,000:—
<hr/>	
total	65,000:—
=====	

An additional criterion which is needed for a comparison of different inventory methods is the precision which methods give to the various parameter estimates. Thus, the search for a final result in such a comparison requires that one knows the functions explaining benefit in relation to precision and cost for various inventory estimates. This is a complex problem involving the goal-setting of inventory and cannot be dealt with here.

Judging by theoretical considerations and from practical experience the grouping method can be regarded as superior to double sampling for stratification primarily because of its greater flexibility. It is also superior to the one-phase systematic tract-wise sampling as applied in the rest of Lapland to the estimation of total

volumes and the proportions of land-use classes. On the other hand, the grouping method is inferior for the estimation of the parameters of small area classes (e.g. mean volumes of treatment classes) and the characteristics which are

not correlated with photo interpretations. It is possible that some kind of combination of the grouping method and one-phase systematic sampling would prove to be the best method.

- No 83 Ole Oskarsson: Pluspuiden fenotyypisissä valinnassa sovellettuja valinnan asteita. Selection degrees used in the phenotypic selection of plus trees. 1,50
- No 84 Kari Keipi ja Otto Kekkonen: Calculations concerning the profitability of forest fertilization. Laskelmia metsän lannoituksen edullisuudesta. 2,—
- No 85 S.—E. Appelroth — Pertti Harstela: Tutkimuksia metsänviljelytyöstä I. Kourukuokka, kenttälapio, taimivakka, taimilaukku sekä istutus koneet Heger ja LMD-1 istutettaessa kuusta peltoon. Studies on afforestation work I. The use of semi-circular hoe, the field spade, plant basket, plant bag and the Heger and LMD-1 tree planters in planting spruce in fields. 3,—
- No 86 Pertti Veckman: Metsäalan toimihenkilöiden koulutustarve 1970-luvulla. Educational requirements of professional forestry staff in the 1970s. 4,—
- No 87 Michael Jones and David Cope: Economics Research in the Finnish Forest Research Institute, 1969—1974. 4,—
- No 88 Seppo Ervasti, Lauri Heikinheimo, Kullervo Kuusela ja Veikko O. Mäkinen: Forestry and forest industry production alternatives in Finland, 1970—2015. 6,—
- No 89 Risto Sarvas: Establishment and registration of seed orchards. 2,—
- No 90 Terho Huttunen: Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase vuosina 1968—70. Wood consumption, total drain and forest balance in Finland in 1968—70. 5,—
- No 91 Pertti Harstela ja Teemu Ruoste: Kokonaisten puiden esijuonto kaksirumpuvintturilla käytävä- ja riviharvennuksessa. Laitteiden ja menetelmien kehittelyä sekä tuotoskokeita. Preliminary full-tree skidding by two-drum winch in strip and row thinning. 2,50
- No 92 Pentti Hakkila ja Pentti Rikkinen: Kuusitukit puumassan raaka-aineena. Spruce saw logs as raw material of pulp. 1,50
- No 93 Kari Löytyniemi: Havupunkin ja kuusen neulaspunkin torjunta. Control of mites *Oligonychus ununguis* and *Nalepella haarlovi* var. *piceae-abietis*. 2,50
- No 94 Paavo Tiuhonen: Puutavaralajitaulukot 5. Koivun uudet paperipuutaulukot. Sortimentafeln 5. Neue Papierholztafeln für Birke. 2,50
- No 95 Jorma Rajala: Nykymetsiköiden kasvuprosentti Suomen eteläpuoliskossa vuosina 1964—68. 2,50
- No 96 Metsätalastollinen vuosikirja 1969. Yearbook of forest statistics 1969. 8,—
- No 97 Juhani Numminen: Short-term forecasting of the total drain from Finland's forests. Suomen metsien kokonaispoistuman lyhytjaksoinen ennustaminen. 1,50
- No 98 Juhani Nousiainen, Jukka Sorsa ja Paavo Tiuhonen: Mänty- ja kuusitukkipuiden kuutiomismenetelmä. Eine Methode zur Massenermittlung von Kiefern- und Fichtenblochholz. 4,—
- 1971 No 99 Yrjö Vuokila: Harvennusmallit luontaisesti syntyneille männiköille ja kuusikoille. Gallringsmallar för icke planterade tall- och granbestånd i Finland. Thinning models for natural pine and spruce stands in Finland. 2,—
- No 100 Esko Leinonen ja Kalevi Pullinen: Tilavuuspaino-otanta kuitupuun mittauksessa. Green density sampling in pulpwood scaling. 2,—
- No 101 IUFRO, Section 31, Working Group 4: Forecasting in forestry and timber economy. 5,—
- No 102 Sulo Väänänen: Yksityismetsien kantohinnat hakkuuvuonna 1969/70. Stumpage prices in private forests during cutting season 1969/70. 1,—
- No 103 Matti Ahonen: Tutkimuksia kanto- ja juuripuun korjuusta I. Kokeilu puiden kaatamisesta juurakkoineen. Studies on the harvesting of stumps and roots in Finland I. Experiment with the felling of trees with their rootstock. 2,—
- No 104 Ole Oskarsson: Plusmetsiköiden valintaero ja jalostusvoiton ennuste. Selection differential and the estimation of genetic gain in plus stands. 1,50
- No 105 Pertti Harstela: Työjärjestyksen vaikutus tynkäärsitun ja likipituisen kuusikuitupuun teossa. The effect of the sequence of work on the preparation of approximately 3-m, rough-limbed spruce pulpwood. 2,50
- No 106 Hannu Vehviläinen: Metsätyömiesten moottorisahakustannukset 1969—1970. Power-saw costs of forest workers in 1969—1970. 3,—
- No 107 Olli Uusvaara: Vaneritehtaan jätetuusta valmistetun hakkeen ominaisuuksista. On the properties of chips prepared from plywood plant waste. 2,50
- No 108 Pentti Hakkila: Puutavaran vaurioitumisesta leikkuuterää korjuutyössä käytettäessä. On the wood damage caused by shear blade in logging work. 2,—
- No 109 Metsänviljelykustannusten toimikunnan mietintö. Report of the committee on the costs of forest planting and seeding. 9,—
- No 110 Kullervo Kuusela — Alli Salovaara: Kainuun, Pohjois-Pohjanmaan, Koillis-Suomen ja Lapin metsävarat vuosina 1969—70. Forest resources in the Forestry Board Districts of Kainuu, Pohjois-Pohjanmaa, Koillis-Suomi and Lappi in 1969—70. 5,50

- No 111 Kauko Aho ja Klaus Rantapuu: Metsätraktorien veto- ja nousukyvyistä rinteessä.
On slope-elevation performance for forest tractors. 2,—
- No 112 Erkki Ahti: Maaveden jännityksen mittaamisesta tensiometrillä.
Use of tensiometer in measuring soil water tension. 1,—
- No 113 Olavi Huikari — Eero Paavilainen: Metsänparannustyöt ja luonnon moninaiskäyttö.
Forest improvement works and multiple use of nature. 2,—
- No 114 Jouko Virta: Yksityismetsänomistajien puunmyyntialttius Länsi-Suomessa vuonna 1970.
Timbers-sales propensity of private forest owners in western Finland in 1970. 6,—
- No 115 Veijo Heiskanen ja Pentti Rikkinen: Tukkien todellisen kiintomitan mittaamisessa käytettävät muunto- ja kuutioimisluvut. Sahatukkien mittaus- ja hinnoittelututkimukseen 1970 perustuvat taulukot. 1,—
- No 116 Veijo Heiskanen: Tyvitukkien ja muiden tukkien koesahauksia Pohjois-Suomessa.
Test sawings of butt logs and top logs in Northern Finland. 2,50
- No 117 Paavo Tiihonen: Suomen pohjoispuoliskon mäntytukkipuusto v. 1969—70.
Das Kiefernstarkholz der nördlichen Landeshälfte Finnlands i.J. 1969—70. 2,—
- No 118 Pertti Harstela: Moottorisahan tärinän vaikutuksesta työntekijän käsiin.
On the effect of motor saw vibration on the hands of forest worker. 1,50
- No 119 Lorenzo Runeberg: Plastics as a raw-material base for the paper industry in Finland.
Muovit paperiteollisuuden raaka-aineena Suomessa. 2,50
- No 120 Esko Salo — Risto Seppälä: Kiinteistöjen polttoraakapuun käytön väli-inventointi vuosina 1969/70.
Fuelwood consumption on farms and in buildings, intermediate inventory, 1969/70. 3,—
- No 121 Heikki J. Kunnas: Forestry in national accounts.
Metsätalouden kansantulo-osuuden laskenta. 2,—
- No 122 Pentti Kuokkanen: Metsänviljelytaimien kasvatuskustannukset vuosina 1969 ja 1972.
Costs of growing forest-tree seedlings in nurseries in 1969 and 1972. 2,50
- No 123 Juhani Numminen: Puulevyjen käyttö Uudenmaan talousalueella v. 1967 valmistuneissa rakennuksissa.
The use of wood-based panels in buildings completed in 1967 in the Uusimaa Economic Region. 2,50
- No 124 Markku Simula: An econometric model of the sales of printing and writing paper. 3,—
- No 125 Risto Seppälä: Simulation of timber-harvesting systems.
Puun korjuuketjujen simulointi. 4,—
- No 126 Matti Palo: Valtion metsäteollisuus- ja metsätalousyritysten koordinointi.
Coordination of State-owned forestry and forest-industry firms in Finland. 4,—
- No 127 Terho Huttunen: Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase vuosina 1969—71.
Wood consumption, total drain and forest balance in Finland in 1969—71. 5,—
- No 128 Veijo Heiskanen ja Pentti Rikkinen: Havusahatukkien todellisen kiintomitan määrittäminen latvaläpimitan perusteella.
Determination of the true volume of coniferous saw logs on the basis of top diameter. 5,—
- No 129 Bo Långström: Insektisidien käyttö havupuiden taimien suojaukseen tukkimiehentäin (Hylobius abietis L.) tuhoilta.
The use of insecticides for protection of coniferous planting stock against the large pine weevil (Hylobius abietis L.) 1,—
- No 130 Metsätalostollinen vuosikirja 1970.
Yearbook of forest statistics 1970. 10,—
- No 131 Pertti Harstela: Metsätyömenetelmien ergonominen kehitys ja eräät työntekijään kohdistuvat fyysiset vaikutukset.
The ergonomic development of the forest work methods and some physic effects on workers. 2,50
- No 132 Simo Poso ja Matti Kujala: Ryhmitetty ilmakuva- ja maasto-otanta Inarin, Utsjoen ja Enontekiön metsien inventoinnissa.
Croupwise sampling based on photo and field plots in forest inventory of Inari, Utsjoki and Enontekiö. 4,—