

MAAN KUVIOIDEN JA PUUSTON
VAIHTELU SEKÄ SEN
VAIKUTUS METSÄN INVENTOINNIN
TARKKUUTEEN

KULLERVO KUUSELA

SUMMARY:

*VARIATION OF THE SITE PATTERN AND GROWING
STOCK AND ITS EFFECT ON THE PRECISION
OF FOREST INVENTORY*

HELSINKI 1960

Alkusanat

Käsillä olevan tutkimuksen kenttäaineisto on mitattu Metsähallituksen toimesta suoritettussa valtion metsien inventoinnissa vuonna 1954. Olen kiitollinen Metsähallitukselle siitä, että olen saanut käyttää aineistoa, ja että minulla oli tilaisuus aloittaa työni ollessani tämän viraston palveluksessa.

Prof. AARNE NYYSSÖNEN on tutustunut työhöni sen valmistumisvaiheessa. Kiitän häntä asiantuntemuksesta, joka on monella tavoin auttanut minua.

Kiitän Suomen Metsätieteellistä Seuraa, joka on julkaissut tutkimukseni sarjassaan.

Kesäkuussa 1960.

Kullervo Kuusela

Sisältö

	Sivu
1. Johdanto	5
11. Tutkimuksen alue ja aiheet	5
12. Aineisto	8
13. Tilastollisen käsittelyn kaavat	13
2. Linja-arvioinnilla saatavien pinta-alojen tarkkuuteen vaikuttavat tekijät	15
21. Linja-arviointi inventointimenetelmänä	15
22. Arvioimislinjojen lukumäärä ja pinta-alan arvion tarkkuus	17
23. Osapinta-alan jakaantumisen vaikutus arvion tarkkuuteen	20
24. Kuvioiden pitkittäissuunnan vaikutus arvion tarkkuuteen	21
25. Edullisimman linjasuunnan ja tarpeellisen linjaluvun määrittäminen	22
26. Päätelmät	24
3. Kuutiotunnusten vaihtelu Inarin männiköissä ja sen huomioonottaminen puuston inventoinnissa	26
31. Aineiston sopivuus aiheen tutkimiseksi	26
32. Kuutiotunnusten vaihtelu ja arvion tarkkuus	27
321. Koealakuutioiden vaihtelu ja sen vaikutus keskikuution arvion tarkkuuteen sekä tarpeelliseen koealojen lukumäärään	27
322. Koepuiden kuution vaihtelu 2 cm:n läpimittaluokissa	30
323. Koepuiden kuution vaihtelun vaikutus luetun puuston kuution arvion tarkkuuteen	32
324. Tarpeellinen koepuiden määrä ja edullisin jakaantuminen läpimittaluokittain	33
33. Rinnankorkeuden läpimittaan perustuva kuutioimistaulukko ja sen merkitys	37
331. Taulukon laadinta	38
332. Rinnankorkeuden läpimittaan perustuvalla taulukolla laskettujen koealakuutioiden vaihtelu	39
333. Läpimittaluokkien keskipuun muuttumiseen vaikuttavat tekijät	41
334. Paikallisen kuutioimistaulukon käyttämisestä aiheutuvan virheen poistaminen	45
34. Huonokasvuisten metsämaan koealat ja niiden perusteella laadittu paikallinen kuutioimistaulukko	48
35. Päätelmät	49
4. Inventointikoealan edullisin koko Inarin olosuhteissa	52
41. Koealan ominaisuuksien vaikutus kuution vaihteluun	52
42. Puustomalli, koealat ja menetelmä	53
43. Tulokset	54
44. Päätelmät	56
5. Inventointia suunniteltaessa huomioon otettavia näkökohtia	57
Kirjallisuusluettelo — <i>References</i>	65
Summary	68

1. Johdanto

11. Tutkimuksen alue ja aiheet

Metsätalouden järjestelyä ja suunnittelua varten tarvitaan tietoja maan viljavuudesta, viljavuusluokkien pinta-aloista ja puuston määrästä sekä laadusta. Nämä tiedot kootaan metsän inventoinnilla, jonka suoritustapa ja voimaperäisyyden aste riippuvat siitä, onko kysymyksessä maatilametsälö, hoitoalue tai laaja talousalue, sijaitseeko metsä edullisissa tai epäedullisissa kasvu- ja menekkiolosuhteissa jne. Metsää arvioidaan myös kauppaa, perinnönjakoa tai muuta omaisuuden siirtoa varten. Hakkuutoiminta ja puuston myynti edellyttävät usein leimatun puuston arvioimista. Erilaiset metsän inventoinnit antavat maassamme työtä kesäkuukausina noin 50—100 ammattimiehelle sekä kaksin-kolminkertaiselle määrälle apulaisia.

Inventointimenetelmiä on maassamme kehitetty ennen muuta kahden ensimmäisen valtakunnan metsien arvioinnin yhteydessä (ILVESSALO 1920, 1923, 1927, 1935 ja 1942 sekä LAPPI-SEPPÄLÄ 1924; vert. ILVESSALO 1956 ja LINNAMIES 1959). Viimeaikaisesta menetelmien kehittämisestä on toistaiseksi saatu tietoja puunjalostusteollisuuden metsien inventoinneista (esim. Enso-Gutzeit . . . 1958).

Jos tarkastellaan pieniä ja pienehköjä inventointeja varten tarkoitettuja työohjeita (esim. Metsäkäsikirja, 2 osa, 1957 ja Tapion taskukirja, 1959), voidaan todeta, että menetelmien tarkkuutta, taloudellisuutta ja asiaan vaikuttavia metsän ominaisuuksia on maassamme tutkittu suhteellisen vähän. Kun on mitattava koeala kasvu- ja rakennetutkimuksia varten, tiedetään varsin tarkasti, miten se on tehtävä luotettavan kuution ja kasvun arvion saamiseksi, mutta kun tarkoituksena on selvittää metsäalueen puuston ja sen ositteiden kuten ikä- ja kehitysluokkien taksatoriset tunnuksat, ovat käsitykset sopivimmasta ja taloudellisimmasta menetelmästä harvoin varsinaisiin tutkimuksiin perustuvia. Tilastomatematiikan ja aineistojen koneellisen käsittelyn mahdollisuuksia ei ole selvitetty läheskään tyhjentävästi.

Sanotun perusteella näyttää tarpeelliselta tutkia metsän inventointimenetelmien perusteita. Käsillä olevassa tutkimuksessa on tarkastelun kohteina maan

kuvioiden ja puuston tunnusten vaihtelu sekä sen huomioon ottaminen laskettaessa arvion tilastollista tarkkuutta sekä arvosteltaessa arvioinnin suorituksen taloudellisuutta. Käsittely rajoittuu menetelmiin, jotka perustuvat mittauksille ja tilastolliseen otantaan. Ulkopuolelle jäävät siten silmävarainen metsikköarviointi, silmävaraisen metsikköarvioinnin ja mittausten yhdistelmät, kokonaispuuston mittaaminen ja kartoitukseen perustuva pinta-alojen arvioiminen. Edelleen rajoitutaan vain tilastolliseen virheeseen vaikuttaviin tekijöihin. Mittaus- tekniikka, kuutioimistapa, laskennan menetelmät sekä niiden vaikutus jäävät kutakuinkin kokonaan tutkimuksen alueen ulkopuolelle.

Kun seuraavassa tarkastellaan lyhyesti eräitä tutkimuksen aiheisiin liittyviä näkökohtia, on kiinnitettävä huomiota ensinnäkin siihen, että inventointien tilastolliseen otantaan kuuluvat työtävät on usein johdettu metsikkötutkimuksissa käytettävistä menetelmistä, joissa tarkoituksena on yksityisen koealan mahdollisimman tarkka kuutioiminen. Sama näkökohta vaikuttaa voimakkaasti myös valtakunnan metsien inventoinnissa käytetyssä menetelmässä, jossa koealoja käytetään silmävaraisia arviointeja tarkistettaessa. Kun jokaisella täyskoealalla on arvioitu puusto myös silmävaraisesti, on koealan oltava riittävän suuri ja niin tarkasti mitattu, että mittaustulosta on voitu verrata silmävaraisella arvioinnilla saatuun tulokseen.

Valtakunnan metsien inventoinnin menetelmä edellyttää siis suhteellisen suurta koealaa (0.10 ha) ja yksityisen koealametsikön kuution sekä kasvun tarkkaa määrittämistä, josta johtuen koealan mittaaminen ja tulosten laskenta vaativat paljon työtä ja kustannuksia. On ilmeistä, että yhtä tarkkoja mittauksia ja yhtä suurta koepuiden määrää ei tarvita, jos halutaan selvittää vain kokonaispuuston ja sen alaluokkien keskikuutiot.

Yksityisten koealojen tarkka kuutioiminen on tähän asti ollut pahin este koneellisen laskennan tiellä. Tulosten laskenta käsityönä tulee pienmetsälöillä niin kalliiksi, että se on estänyt inventointiin perustuvan taloussuunnitelman yleistymistä esim. maatilametsätaloudessa. Suurissa inventoinneissa työ vie taas niin paljon aikaa, että kun metsätalouden suunnittelija saa tiedot käytettävikkseen, ovat ne jo osittain vanhentuneet. Laskennan jouduttamiseksi onkin esim. teollisuusyhtiöiden metsien inventoinneissa pyritty kehittämään menetelmiä siten, että aineiston koneellinen käsittely ja laskenta voitaisiin viedä mahdollisimman pitkälle. Työn nopeuttamiseen on pyritty myös tutkimalla relaskoopin käytön mahdollisuuksia (NYYSSÖNEN 1954, VUOKILA 1959 ja KUUSELA 1960).

Käytännön inventointimenetelmille on ominaista, että ne eivät poikkea suuresti toisistaan maan eri osissa. Kuitenkin metsän tuottoarvo on eteläisimmässä Suomessa aina 20—30 kertaa niin suuri kuin Pohjois-Suomessa. Inventoinnin taloudellista tarkoituksenmukaisuutta silmällä pitäen tulisi otannan suhteen pienenemisen lisäksi myös mittausten ja laskennan olla sitä nopeampaa ja halvempaa, mitä laajaperäisemmistä olosuhteista on kysymys (esim. PRODAN 1958). Tässäkin suhteessa ovat työmenetelmiin vaikuttaneet enemmän muut

näkökohdat kuin käytännössä tarpeellinen pyrkimys taloudellisesti edullisimpaan kokonaisratkaisuun.

Kun inventointi perustuu tilastolliseen otantaan, ovat havaintojen tarpeellinen määrä ja tuloksen tarkkuus riippuvaisia maan ja puuston tunnusten vaihtelusta. Pinta-alan ositteiden kohdalla vaihtelu ilmenee niiden ryhmittymisenä alueelle. Puuston kuutiomäärää selvitetäessä vaikuttavat arvion tilastolliseen tarkkuuteen koealojen ja koepuiden kuutiomäärän vaihtelu sekä otannan intensiteetti eli arvioimissadannes. Koealojen kuution vaihtelu johtuu puuston ikä- ja kehitysluokkarakenteesta, puiden ryhmittymisestä metsiköissä sekä koealan koosta ja mahdollisesti myös muodosta. Mitä useammanlaisia ikä- ja kehitysluokkia alueella esiintyy ja mitä epätasaisempaa puiden ryhmittyminen on, sitä enemmän koealojen kuutio vaihtelee. Myös koealan koon pienentäminen suurentaa vaihtelua (esim. HASENKAMP 1954).

Otantatavan vaikutuksesta tuloksen tarkkuuteen toteaa FINNEY (1948), että jos havaittava ominaisuus ryhmittyy systemaattisesti alueelle, on stratifioitu otanta edullisempi kuin systemaattinen otanta. Saman edellytyksen vallitessa on systemaattinen otanta sattumanvaraista edullisempi. Jos ominaisuus jakaantuu täysin sattumanvaraisesti alueelle, antavat kaikki kolme otannan muotoa saman tuloksen. (Tilastollisessa otannassa edellytetään näyte objektiivisesti valituksi. Subjektiiiviseen valintaan sisältyy siksi paljon kontrolloimattomia tekijöitä, että sen tilastollista tarkkuutta ei voida määrittää.)

Inventointia suunniteltaessa tunnetaan tavallisesti metsän kokonaisala. Pyrkimyksenä on selvittää kokonaisalan haluttujen ositteiden suuruus sekä puuston keskikuutio kullakin ositteella. Jos ositteina on esim. kasvullinen ja huonokasvuinen metsämaa sekä joutomaa, arvioidaan näiden kolmen ositteen osuus kokonaisalasta sekä keskikuutio pinta-alayksikköä kohden kahdelle ensin mainitulle ositteelle. Ositteen kuutiomäärä on

$$\text{ala} \times \text{keskikuutio} = \text{kuutio}$$

Kun sekä ala että keskikuutio saadaan otannalla, sisältyy alaan ja keskikuution tilastollinen virhe, jonka suuruus on riippuvainen otannan muodosta, havaintojen lukumäärästä, otannan suhteesta ja asianomaisen tunnuksen vaihtelusta. Sekä pinta-alan että keskikuution virhe aiheuttavat kuution virheellisyyden.

Pinta-alan arvioimisen osalta tullaan käsillä olevassa tutkimuksessa tarkastelemaan ainoastaan linja-arviointia ja lähinnä linjojen lukumäärän, suunnan sekä ositteiden alojen ryhmittymisen vaikutusta arvion tarkkuuteen. Keskikuution arvioinnin osalta selvitetään 0.10 hehtaarin suuruisten ympyräkoealojen kuutioiden sekä läpimittaluokittain otettujen koepuiden kuutioiden vaihtelua ja miten kuutioiden vaihtelu sekä koealojen ja koepuiden lukumäärä vaikuttavat arvion tarkkuuteen. Koealan koon merkitys on myös tarkastelun kohteena,

mutta sen osalta voidaan esittää eräitä suuntaa antavia näkökohtia, koska käytävissä olevana kenttäaineistoon sisältyy vain yhtä kokoa olevia koealoja.

Koealakuutioiden vaihtelun selvittelyn yhteydessä tarkastellaan vaihtoehtoisia mahdollisuuksia jakaa kasvullisen metsämaan puusto rakenneluokkien perusteella ositteisiin. Puustoa ryhmitellään tavallisesti metsätalouden järjestelyn tarpeita silmälläpitäen ja inventoinnilla selvitetään puustoluokkien taksatoriset tunnuksat. Niinpä puusto voidaan jakaa ikäluokkiin, joiden pinta-ala, keskikuutio, kasvu jne. arvioidaan. Inventoinnin kannalta olisi suotavaa, että puustoluokat muodostaisivat mahdollisimman yhtenäisiä kokonaisuuksia. Jos yksityisiin puustoluokkiin kuuluvien koealakuutioiden vaihtelu olisi pienempi kuin kokonaisaineiston koealakuutioiden vaihtelu, muodostaisivat puustoluokat ositteita, jolloin stratifioitu otanta lisäisi inventoinnin tehokkuutta. Inventoinnin tarkoituksenmukainen suorittaminen helpottuisi suuresti, jos metsätalouden järjestelyä palveleva puuston luokitus johtaisi kokonaispuustoa yhtenäisempiin alaluokkiin.

Tutkimuksessa käytetään aineistoa, joka on koottu Inarin hoitoalueen metsien inventoinnissa, ja johon sisältyy yksinomaan männiköissä mitattuja koealoja. Tuloksia voidaan siis soveltaa sellaisinaan suhteellisen pienellä ja metsätaloudelliselta merkitykseltään vähäisellä alueella. Toisaalta tutkimuksen tavoitteena on myös ollut selvittää työmenetelmiä, ja tässä mielessä ovat yhden puulajin metsiköt sekametsiköitä edullisempia. Tutkimusmenetelmiä ja niihin liittyviä periaatteita voidaan soveltaa muuallakin. On ilmeistä, että puuston vaihtelun tunnuksat ja niiden mukainen edullisin inventointimenetelmä on selvitettävä erikseen tärkeimmille talousmaantieteellisille alueille.

12. Aineisto

Pinta-alan arvioimista koskeva tutkimuksen osa on teoreettinen eikä siinä ole käytetty kenttäaineistoa. Muissa osissa käytetyt koealat ja koepuut on mitattu valtion metsien inventoinnissa (LINNAMIES 1959) Inarin hoitoalueen varsinaisella metsätalousalueella, jonka ulkopuolelle jäävät suojametsät. Kenttätyössä noudatettiin III:ssa valtakunnan metsien inventoinnissa käytettyä työmenetelmää (ILVESSALO 1951). Metsähallituksen toimesta mitatuilla koealoilla määritettiin myös metsikön kehitysluokka (lähemmin LINNAMIES 1959). Kenttätyön kuvaus rajoittuu tässä tutkimuksen kannalta merkittäviin näkökohtiin.

Koealat mitattiin vuonna 1954. Sitä ennen alueen metsiä oli hakattu hyvin vähän, joten koealametsiköt olivat muutamia poikkeuksia lukuunottamatta joko luonnontilaisia tai niitä oli hakattu vähintään 20 vuotta aikaisemmin. Arvioimislinjaukset kuljettiin 5 km:n välein lounaasta koilliseen. Koealojen välimatka linjalla oli 1 km. Aineisto koottiin systemaattisella otannalla ja koealat eli otannan yksiköt sijoitettiin maastoon siten, että linjojen välinen etäisyys oli viisi kertaa suurempi kuin koealojen väli linjalla.

Ympyräkoalan suuruus oli 0.10 ha rinnantasalta yli 10 cm oleville puille. Alle 10 cm:n puut luettiin 0.01 ha:n suuruiselta koealalta. Luku tapahtui 2 cm:n luokkiin. Koeapuista mitattiin läpimitta ja kapeneminen 1 cm:n tarkkuudella ja pituus 1 m:n tarkkuudella. Kuutioiminen suoritettiin ILVESSALON (1948) taulukoilla.

Inventointi edellytti yksityisten koealojen suhteellisen tarkkaa kuutioimista. Koeapuita mitattiin kutakin koealaa kohden 8—10 kpl. Niiden perusteella piirrettiin runkolukusarjalle pituus- ja kapenemiskäyrä. Käyristä saatiin läpimittaluokkien keskipuiden pituus ja kapeneminen ja niiden perusteella edellä mainituista taulukoista yksikkökuutiot. Näin laskettuja koealakuutioita pidetään lähinnä oikeina, joihin tässä tutkimuksessa laskettuja kuutioita verrataan.

Mittaukset ja kenttätyön harkinnanvaraiset ratkaisut vastaavat hyvää käytännön metsänarvioinnin tasoa. Kehitysluokkien määrittämisen osalta on kuitenkin todettava epämääräisyyttä. Samaan kehitysluokkaan kuuluvissa metsiköissä on rakenne- ja kuutiomääräeroja, jotka ilmeisestikin johtuvat siitä, että kehitysluokat eivät ole olleet käsitteellisesti selvät. Toisaalta kehitysluokituksen käyttäminen ei ole helppoa olosuhteissa, joissa pääosa metsiköistä on luonnontilaisia ja yli-ikäisiä. Myöskään metsätyypin määrittäminen ei ehkä joka koealalla täytä ankarinta tieteellisyyden vaatimusta. Kuitenkin kun tarkoituksena on selvittää käytännössä suoritettavien havaintojen vaihtelua, on eduksi, että mittausten ja havaintojen laatu vastaa käytännön kenttätyön tasoa. Tutkimuksen tarkoitus ja työhypoteesit eivät ole voineet vaikuttaa aineiston laatuun, koska sitä koottaessa ei tiedetty, että aineistoa tulitaisiin lähemmin analysoidaan.

Inarin talousmetsät, joista koealat mitattiin, muodostavat maantieteellisesti ja ilmastollisesti oman erillisen ja selvärajaisen kokonaisuutensa. Ne sijaitsevat Saariselän tuntureiden ja Inarin järven väliin jäävässä painanteessa. Puusto on yhtenäistä ja miltei yksinomaan puhtaita männiköitä. Aineiston koostuminen yhdestä puulajista on suuresti helpottanut sen käsittelyä. Koska aineistossa ei ole koealoja suojametsistä, jossa kasvupaikan boniteetti, puuston tiheys ja kuutio poikkeavat vastaavista metsätalousalueen puuston tunnuksista, ei esitettävää lukua voida käyttää sellaisinaan kuvaamaan suojametsäalueen puustoa. On myös huomattava, että aineistoon on sisällytetty vain ne Metsähallituksen toimesta mitatut koealat, jotka ovat sattuneet kutakuinkin puhtaisiin männiköihin. Tämän vuoksi koealojen keskikuutio ei ole täsmälleen sama kuin valtion metsien inventoinnissa saatu keskikuutio, jota laskettaessa on ollut mukana muutama koivikko- ja kuusikkokoeala sekä huomattava määrä III:ssa valtakunnan metsien inventoinnissa mitattuja koealoja.

Tulosten merkitystä arvosteltaessa on pidettävä mielessä eräitä mittaustavoista johtuvia aineiston ominaisuuksia. Ensinnäkin koealat on koottu systemaattisella otannalla, joten ankarasti ottaen tulosten analyysissä ei voitaisi käyttää tilastollisen todennäköisyyslaskennan menetelmiä. Tämä merkitsee sitä, että

esim. koealojen kuutioiden vaihtelun perusteella laskettu keskivirhe ei ole täsmällinen keskikuution tarkkuuden tunnus (vert. esim. FINNEY 1947 ja 1948). Toisaalta metsänarvioinnissa käsitellään yleisesti systemaattisella otannalla koottuja aineistoja ja tulkitaan tuloksia aivan kuin aineisto olisi koottu sattumanvaraisella otannalla. Katsotaan, että jos samasta populaatiosta otetaan näyte kummallakin tavalla, eivät niistä lasketut tilastollisen virheen tunnuksot poikkeavat sanottavasti toisistaan (esim. GIRARD-GEVORKIANTS 1939). Koska systemaattinen otanta on käytännössä paljon helpompi suorittaa kuin sattumanvarainen otanta, ja koska se saatujen kokemusten mukaan, ja tiettyjen edellytysten puitteissa (vert. sivu 7) antaa ainakin yhtä tarkkoja tuloksia, käytetään sitä yleisesti. Systemaattisella otannalla kootusta aineistosta lasketut vaihtelun tunnuksot ovat ilmeisesti käyttökelpoisia myös uusien inventointeja suunniteltaessa.

Yksityisten koealojen suhteellisen tarkka kuutiointi on edellyttänyt tiettyä minimimäärää koepuita jokaisella koealalla. Vaikka suurikuutioisissa ja rakenteeltaan heterogeenisissa metsiköissä onkin mitattu enemmän koepuita kuin pienikuutioisissa metsiköissä, on jälkimmäisissä otettu koepuita suhteessa kuutiomäärään eniten. Koska puuston tiheys ja kuutiomäärä vaikuttavat ilmeisestikin läpimittaluokkien keskipuiden pituuteen ja muotoon, on odotettavissa, että koepuuaineiston läpimittaluokittaisiin keskiarvoihin sisältyy tilastollisen virheen lisäksi myös systemaattinen virhe. Edellä todettiin, että harvoista ja pienikuutioisista metsiköistä on koepuita otettu suhteellisesti eniten, joten systemaattisen virheen voidaan odottaa olevan minus-merkkisen.

Koepuiden enimmäismäärä koealalla on ollut noin 10 kpl. Koska graafisten pituus- ja kapenemiskäyrien piirtäminen 10 havainnon perusteella on vaikeata varsinkin rakenteeltaan epätasaiselle metsikölle, on tämä aiheuttanut pyrkimyksen valita lähinnä keskimääräisiä puita koepuiksi. Tämän vuoksi aineistosta lasketut puiden kuutioiden vaihtelun tunnuksot voivat jonkun verran aliarvioida todellista vaihtelua, sillä poikkeuksellisen pituuden ja muodon omaavia runkoja ei aineistossa todennäköisesti ole oikeassa suhteessa niiden todelliseen lukumäärään.

Aineisto ei ole siis kaikilta osiltaan moitteeton. Pahin heikkous on se, että koepuiden valinta ei ole ollut täysin objektiivista. Aineisto tarjoaa kuitenkin hahmoteltujen ongelmien selvittämiseksi siksi arvokkaan lähtökohdan, että sen käyttämättä jättäminen merkitsisi tutkimusmahdollisuuden laiminlyömistä. Mikäli uusissa inventoinneissa koepuut valitaan objektiivisesti, tulevat tämän tutkimuksen tulokset tarkistetuiksi. Puuston vaihtelun tunnuksot ovat muuttuvia suureita, ja niiden muuttumista on joka tapauksessa seurattava arviointien tarkkuuden määrittämiseksi.

Koealoja on kaikkiaan 318. Niistä on 289 mitattu kasvullisella metsämaalla ja 29 huonokasvuisella metsämaalla. Koealametsiköiden jakaantuminen alaluokkiin on esitetty taulukossa 1. Luokat ja arvostelun perusteet on kuvattu

lähemmin julkaisuissa ILVESSALO 1951 ja 1956 sekä LINNAMIES 1959. Kehitysluokista on taimistoissa ja nuorissa metsiköissä siksi paljon ylispuuta, että ne eivät edusta sanan varsinaisessa merkityksessä tätä kehitysluokkaa. Otsakkeen »muut» alla ovat vajaatuottoiset metsiköt sekä kaksi koealaa, joilla uudistaminen on käynnissä.

Luettu puusto ja koepuiden jakaantuminen läpimittaluokkiin on esitetty taulukossa 2. Luetun puuston suhteen on huomattava, että vaikka rinnantasalta alle 10 cm:n puut on mitattu 0.01 ha:n suuruiselta koealalta, ovat niiden lukumäärät taulukossa 2 samaa pinta-alayksikköä kohden kuin suurempienkin puiden lukumäärät.

Läpimittaluokkiin 3 ja 5 cm kuuluneet puut on kenttätöissä yhdistetty yhdeksi läpimittaluokaksi, joka saa merkinnän 3—5 cm.

Taulukko 1. Koealojen lukumäärä ja jakaantuminen alaluokkiin.

Table 1. Number of sample plots and their distribution by sub-groups.

Kasvu- paikka Site ¹⁾	Kasvullinen metsämaa Productive forest land							Huonokasv. metsämaa Poorly productive f.l.			Yhteensä Total			
	Lh MT LhK	EVT	EMT	HMT	ErCIT	CT CIT	KgK KgR	Yhteensä Total	Kankaat Mineral soils	Suot Swamps		Yhteensä Total		
Luku- määrä Number	5	87	80	10	83	16	8	289	14	15	29	318		
Kasvullisen metsämaan koealat — Sample plots of productive forest land														
Ikäluokka, v. — Age class, y.				20	60	100	140	180	220	260	300	340	380	Yhteensä Total
Lukumäärä — Number				1	1	16	41	99	74	41	13	2	1	289
Kehitysluokka ²⁾ — Development stage ²⁾ . .					1		2		3		4		5—7	Yhteensä Total
Lukumäärä — Number					18		41		67		130		33	289
Tiheysluokka ³⁾ — Density class ³⁾					0.1—0.2		0.3—0.4		0.5—0.6		0.7—0.8		0.9—1.0	Yhteensä Total
Lukumäärä — Number					5		23		95		98		68	289

¹⁾ Lh, MT, LhK = Myrtillus and better site type, EVT = Empetrum-Vaccinium site type, EMT = Empetrum-Myrtillus site type, HMT = Hylocomium-Myrtillus site type, ErCIT = Ericaceae-Cladina site type, CT, CLT = Calluna and Cladina site type, KgK, KgR = productive spruce and pine swamps.

²⁾ 1 = taimistot — seedling and sapling stands, 2 = harvennusemetsiköt — thinnable stands, 3 = väljennusemetsiköt — stands in preparatory stage, 4 = uudistettavat metsiköt — regeneratable stands, 5—7 = muut metsiköt — other stands.

³⁾ Silmävaraisesti arvioitu biologinen tiheys — Biological density estimated ocularly.

Taulukko 2. Luetun puuston ja koepuiden jakaantuminen läpimittaluokkiin.
Table 2. Distribution of the tallied trees and sample trees by diameter classes.

Kasvullisen metsämaan koealat — Sample plots of productive forest land																Yhteensä Total														
d-luokka, cm d-class, cm	3-5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31	33	35	37	39	41	43	45	47	49	51	53	55	57	59		
Luetut puut Tallied trees	6 260	1 810	1 450	1 218	1 091	905	850	853	732	570	469	412	301	236	176	144	69	62	39	16	17	10	11	7	1	1	1	1	1	17 712
Puita 10 ha:lla Trees on 10 ha.	2 166	626	502	421	378	313	294	295	253	197	162	143	104	82	61	50	24	21	13	6	6	2	3	2	1	1	1	1	6 126	
Koepuita Sample trees	76	50	54	176	191	182	201	225	228	214	210	180	171	143	108	98	55	57	37	14	12	7	11	6	1	1	1	1	2 710	
Huonokasvuisen metsämaan koealat — Sample plots of poorly productive forest land																														
Luetut puut Tallied trees	330	130	170	107	66	51	39	30	24	19	8	4	7	2	5	2	1													995
Puita 10 ha:lla Trees on 10 ha.	1 138	448	586	369	228	176	134	104	83	65	28	14	24	7	17	7	3													3 431
Koepuita Sample trees	14	6	11	24	21	19	18	16	10	12	6	2	5	2	5	2	1													174

13. Tilastollisen käsittelyn kaavat

Aineistoa edellä kuvattaessa todettiin, että vaikka se onkin koottu systemaattisella otannalla, voidaan sitä tietyin varauksin analysoida käyttämällä yleisiä tilastomatemattisia menetelmiä. Varauksia tullaan vielä korostamaan asianomaisissa kohdissa. Käytetyt tunnuksat merkkeineen ja kaavat ovat seuraavassa luettelossa (lähemmin esim. SNEDECOR 1953, McNEMAR 1950 ja HOLOPAINEN 1956):

N	= yksikköjen lukumäärä populaatiossa
\bar{X}	= populaation aritmeettinen keskiarvo
S	= populaation hajonta
n	= yksikköjen lukumäärä näytteessä
x	= yksikön arvo
\bar{x}	= näytteen aritmeettinen keskiarvo
s	= näytteen hajonta
$s^2 = v$	= näytteen varianssi
c.v.	= näytteen variaatiokerroin eli suhteellinen hajonta
$\frac{s}{\bar{x}}$	= näytteen keskiarvon keskivirhe

Kun yksikköjen lukumäärä populaatiossa on suuri (n/N pienempi kuin 0.05), lasketaan keskivirhe kaavalla:

$$\frac{s}{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (1)$$

Kun populaatio on äärellinen (n/N suurempi kuin 0.05), lasketaan keskivirhe kaavalla:

$$\frac{s}{\bar{x}} = \sqrt{1 - \frac{n}{N}} \times \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

Kun n/N on pienempi kuin 0.05, ja kun oletetaan, että $s \approx S$, lasketaan näytteen tarpeellinen yksikköjen määrä kaavalla:

$$n = \frac{s^2}{\frac{s^2}{\bar{x}^2}} \quad (3)$$

Kun populaatio on äärellinen, lasketaan näytteen tarpeellinen yksikköjen määrä kaavalla:

$$n = \frac{s^2 N}{\frac{s^2}{\bar{x}^2} N + s^2} \quad (4)$$

L	= ositteiden lukumäärä
N_h	= yksikköjen lukumäärä ositteessa h
n_h	= näyteyksikköjen lukumäärä ositteessa h

$v_{\bar{x}} = \frac{s^2}{x} =$ kokonaisnäytteen keskiarvon varianssi:

$$v_{\bar{x}} = \frac{1}{N^2} \sum_{h=1}^L N_h^2 \left(1 - \frac{n_h}{N_h}\right) \frac{s_h^2}{n_h} \quad (5)$$

Kun keskiarvon varianssi halutaan tietyn suuruiseksi, lasketaan kokonaisnäytteen lukumäärä kaavalla (yksikköjen lukumäärä jokaisessa ositteessa on suuri):

$$n = \frac{\sum_{h=1}^L \frac{N_h}{N} s_h^2}{v_{\bar{x}} + \frac{1}{N} \sum_{h=1}^L \frac{N_h}{N} s_h^2} \quad (6)$$

Kun kokonaisnäytteen lukumäärä tunnetaan, saadaan ositteesta h näytteeksi otettavien yksikköjen lukumäärä kaavalla (Neymanin optimikiintiöinti):

$$n_h = n \frac{N_h s_h}{\sum N_h s_h} \quad (7)$$

2. Linja-arvioinnilla saatavien pinta-alojen tarkkuuteen vaikuttavat tekijät

21. Linja-arviointi inventointimenetelmänä

Linja-arviointi on ensimmäinen varsinaisesti tieteellinen menetelmä pinta-alojen ja puuston määrän selvittämiseksi suurilla metsäalueilla (af STRÖM 1830, ERICSSON 1898, ILVESSALO 1920, 1923 ja 1942, LAPPI-SEPPÄLÄ 1924, LANGSAETER 1932—34, ÖSTLIND 1932, NÄSLUND 1939 ja MATÉRN 1947). Luonteeltaan se on systemaattista otantaa. Havainnot kootaan tavallisesti samansuuntaisilla, yhtä kaukana toisistaan kulkevilla linjoilla. Maankäyttölajien, viljavuusluokkien ja metsikkötyyppien pinta-alat selvitetään kullekin alaryhmälle sattuvien linjapituuksien perusteella, puuston määrä taas lukemalla puut tietyn levyisiltä kais-toilta tai mittaamalla määräväleihin koaloja.

Tulosten tarkkuutta analysoidaan tavanomaisilla tilastomatematisilla menetelmillä. Tavallisesti otetaan huomioon tunnuksen systemaattinen muuttuminen siirryttäessä linjalta toiselle. Havaintojen lukumäärään ja vaihteluun perustuvan tarkkuuden analyysin edellytyksinä on kuitenkin eräitä oletuksia. Niinpä LAPPI-SEPPÄLÄ (1924, s. 8) kirjoittaa: »Jos alue käsittää yhtenäisen kokonaisuuden, niin täten sijaitsevat», (yhtä leveinä, saman välimatkan päässä toisistaan kulkien) »oikeaan suuntaan ajatut linjat todennäköisesti antavat oikean kuvan koko arvioitavasta alueesta». Oikeana linjasuuntana taas pidetään sitä, joka leikkaa kohtisuorassa maakuvioiden tai maaeroavuuksien pituussuunnan. ILVESSALO (1923, s. 15) mainitsee todenmukaisten tietojen edellytyksenä, että alueen tulee käsittää kollektiivisen kokonaisuuden.

Tilastollisia menetelmiä linja-arvioinnilla saatavien tulosten tarkkuuden selvittämiseksi on tutkittu varsin perusteellisesti Pohjoismaissa (edellä mainittujen lisäksi LINDBERG 1924 ja 1926). Koska linja-arvioinnin tarkkuutta selvittävien tilastollisten analyysien edellytyksenä on tiettyjä oletuksia, toteaa FINNEY (1948), että menetelmien oikeutuksen täytyy olla empiirinen eikä teoreettinen.

Linja-arvioinnin tärkeimpiä etuja on sen sopivuus laajaperäisissä oloissa. »Käytäntö onkin osoittanut, että linja-arvioimisen avulla lyhyessä ajassa ja pienin kustannuksin voidaan saada tyydyttävät tiedot metsäalueen puustosta, sen

laadusta, iästä, kasvusta, ym. seikoista ja on arvioimistapaa käytetty sangen yleisesti, varsinkin kun arvioitava alue on ollut suuri ja menekki-suhteisiin nähden epäedullisessa asemassa.» (LAPPI-SEPPÄLÄ 1924, s. 8).

Linja-arvioimisen halpuus ja nopeus johtuvat siitä, että arvioimisryhmän kulku havaintopaikalta toiselle on mahdollisimman taloudellista ja havaintoyksikköjen lukumäärä saadaan siten pienin kustannuksin suureksi. Havaintoyksikköjen suuri lukumäärä taas lisää keskiarvojen tarkkuutta. Jos toisena vaihtoehtona on havaintoyksikköjen sattumanvarainen sijoittaminen alueelle, tulee niiden hakeminen maastossa kalliiksi yksikköä kohden. Niinpä maamme metsien inventoinneissa on yksi ryhmä mitannut 4—5 täyskoealaa ja 4—5 välikoealaa (joiden pinta-ala on 0.10 ha) sekä suorittanut noin 40 silmävaraista metsikköarviointia päivässä (ILVESSALO 1942), kun taas amerikkalaisessa stratifioituun otantaan perustuvassa menetelmässä työryhmä mittaa 2—3 koealaa (joiden pinta-ala on 1/4 acra) päivässä eikä suorita mitään muita havaintoja. Toisaalta amerikkalaisessa arvioinnissa selvitetään maankäyttölajien ja joskus myös metsikkötyyppien pinta-alat ilmakuvia käyttäen, jolloin koealojen tarkoituksena on selvittää ositteiden puustotunnukset (esim. Forest survey . . . , 1953).

Linjoittainen kulku havaintopaikalta toiselle on kuitenkin taloudellista vain suhteellisen tasaisessa maastossa. Vuoristossa tai seudulla, jossa metsäalueita ympäröi tai niihin liittyy laajoja, vaikeasti kuljettavia puuttomia alueita, on linja-arviointi joko mahdoton suorittaa tai se vaatii suuria kustannuksia. Tällaisissa olosuhteissa heikkenee myös arvion tarkkuus linjojen väleihin jäävien alueiden vuoksi, koska linjoja ei voida kulkuvaikeuksien vuoksi aina ajaa pitkittäisten maakuvioiden poikki tai pitkittäisten maakuvioiden suunta vaihtelee epämääräisesti. Lähinnä tämän vuoksi on mm. Yhdysvalloissa luovuttu linja-arvioinnin käyttämisestä ja turvauduttu ilmakuviin sekä stratifioituun otantaan. Myös olosuhteissa, missä metsät ovat hajallaan laajojen puuttomien alueiden keskellä, on käytetty muita menetelmiä. Ellei arvioitava tekijä jakaannu sattumanvaraisesti alueelle, on Pohjoismaissa pyritty käyttämään yhdensuuntaisen linjaston sijasta toisiaan vastaan kohtisuorassa kulkevia linjoja (ARMAN 1948, HAGBERG 1952 ja 1957, Instruktion . . . , 1958 ja MATÉRN 1959).

Linjoittaisen kulkemisen etuja ja tilastollisen otannan vaatimuksia on myös pyritty yhdistämään (esim. MEJORADA, jne., 1958). Koealat kuljetaan linjoittain ja linjat sekä koealat sijoitetaan maastoon sattumanvaraisesti. Metsää kasvavien alueiden ja niiden pinta-alojen selvittämisessä on tässäkin työssä käytetty ilmakuvia.

Näyttää siltä, että linja-arvioinnin merkitys inventointimenetelmänä pienee, ja että kokonaisaineiston stratifiointi ositteisiin ilmakuvilla ja ositteiden taksatoristen tunnusten selvittäminen koealoilla (Forest survey . . . , 1953, LOETSCH 1955 ja ROGERS 1958) sekä muut tilastolliseen otantaan perustuvat menetelmät (esim. HUMMEL 1949 ja Census of Woodlands, 1952) saavat entistä enemmän käyttöä. Metsänarvioimismenetelmissä on todettavissa pyrkimys vä-

hentää toistuvia työnsuorituksia sekä tarpeetonta liikkumista maastossa (etherialization process, LINDSEY, 1955).

Toisaalta on ilmeistä, että linja-arviointia käytetään olosuhteissa, joissa sen edut ovat kiistattomat. Pienillä alueilla se tarjoaa nopean ja luotettavan tavan selvittää ositteiden pinta-alat. Samoin jo suoritettujen linja-arviointien tuloksia tarvitaan jatkuvasti monissa yhteyksissä. On siis syytä yhä tutkia tämän arvioimistavan ominaisuuksia.

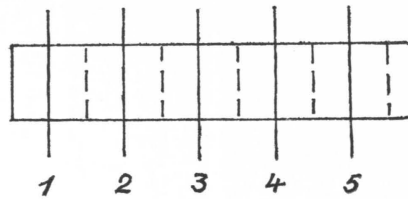
Viitattakoon vielä edellä mainittuihin linja-arvioinnin soveltuvuuden lisäämääritteisiin, kuten »oikeaan suuntaan ajatut linjat antavat todennäköisesti oikean kuvan . . . » ja »on arvioimistapaa käytetty sangen yleisesti, varsinkin kun arvioitava alue on ollut kyllin suuri ja menekki-suhteisiin nähden epäedullisessa asemassa» sekä »kun alue käsittää kollektiivisen kokonaisuuden». Seuraavassa pyritään lähemmin tarkastelemaan, mikä on oikea linjasuunta ja mikä merkitys on alueen muodostumisella kollektiivisesta kokonaisuudesta. Kunkin arvioimislinjan edustama pinta-alan osuus geometrisena käsitteenä sekä kokonaisalan arvion koostuminen näistä osuuksista muodostavat analyysin lähtökohdan.

22. Arvioimislinjojen lukumäärä ja pinta-alan arvion tarkkuus

Metsätaloudellisten pinta-alojen arvioiminen linjoilla tapahtuu siten, että kokonaisalaltaan tunnetun alueen poikki ajetaan yhdensuuntainen linjasto, jossa linjojen välimatkat ovat tietyn suuruiset. Mittaamalla linjasto selvitetään, kuinka suuri osuus siitä leikkaa kutakin omana luokkana käsiteltävää osa-alaa. Jos esim. 51 % linjastosta on mitattu kasvullisella metsämaalla, saadaan kasvullisen metsämaan arvioksi 51 % kokonaisalasta.

Ongelma linja-luvun vaikutuksesta pinta-alan arvion tarkkuuteen voidaan yksinkertaistaa tapaukseksi, jossa suorakaiteen pinta-ala arvioidaan toisen sivun suuntaisella linjastolla. Yleisin lienee vaihtoehto, jossa ensimmäinen linja kulkee 1/2 linjavälin päässä suorakaiteen toisesta laidasta (Piiros 1). Tätä vaihtoehtoa esittävässä piirroksessa on arvioimislinjat numeroitu ja kukin linja edustaa pinta-alan osuutta, joka on erotettu viereisestä osuudesta katkoviivalla. Jos jotakin linjaväliä käytettäessä suorakaiteelle mahtuu esim. viisi linjaa, antaa arviointi suorakaiteen pinta-alaksi viisi kertaa kunkin linjan edustaman pienen suorakaiteen alan.

Oletetaan, että piirroksessa 1 esitetty suorakaide voi päättyä sen avoimeksi jätetyn sivun suunnassa millä kohtaa tahansa, ja että sitä leikkaa yhtä pitkän välimatkan päässä toisistaan kulkevia linjoja 1, 2, 3, 4, jne. kappaletta. Jos suorakaiteelle mahtuu vain yksi linja, ja jos suorakaide päättyy välittömästi linjan vieressä, on pinta-alan arvio 1 pieni suorakaide ja todellinen pinta-ala on 1/2 pientä suorakaidetta. Virhe, tässä tapauksessa yliarviointi, on siis 100 % eli 1. Jos suorakaiteelle mahtuu 2 linjaa, ja jos se päättyy välittömästi toisen



Piiros 1. — Fig. 1.

linjan vieressä, on arvio 2 ja suurin mahdollinen virhe $1/3$ todellisesta pinta-alasta. Suurin mahdollinen pinta-alan arvion virhe on esitetty linjaluvun funktiona seuraavassa asetelmassa:

linjaluku	suurin mahdollinen virhe
1	1
2	$1/3$
3	$1/5$
4	$1/7$
.	.
.	.
n	$\frac{1}{2n-1}$

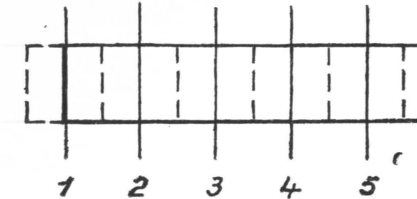
(8)

Jos oletetaan, että suorakaide päättyy aina vähän ennen seuraavaa uutta linjaa, tapahtuu pinta-alan aliarviointi. Suurin mahdollinen virhe on pienempi kuin edellä. Eron suhteellinen merkitys pienenee kuitenkin nopeasti linjaluvun suuretessa. Maksimivirheen suuruutta osottava asetelma on seuraavassa:

linjaluku	suurin mahdollinen virhe
1	$1/3$
2	$1/5$
3	$1/7$
4	$1/9$
.	.
.	.
n	$\frac{1}{2n+1}$

(9)

Suurimman mahdollisen virheen kaavalle saadaan vielä kolmas muoto, kun oletetaan, että linjasto asetetaan suorakaiteen päälle samansuuntaisena kuin edellä mutta muuten sattumanvaraisesti. Tällainen tapaus on todellisuudessa mahdollinen silloin, kun arvioitava osapinta-ala alkaa jonkun matkan päässä kokonaisalueen laidasta. Suurin mahdollinen virhe syntyy, kun ensimmäinen



Piiros 2. — Fig. 2.

linja sattuu välittömästi osapinta-alaa kuvaavan suorakaiteen sivun viereen (Piiros 2). Tuloksena on yliarviointi ja virheen suuruus on esitetty seuraavassa asetelmassa:

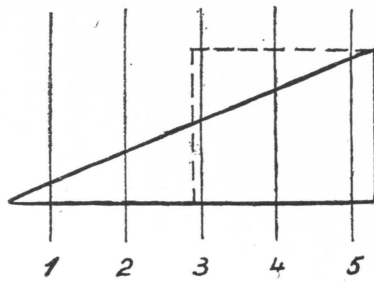
linjaluku	suurin mahdollinen virhe
1	∞
2	1
3	$1/2$
4	$1/3$
.	.
.	.
n	$\frac{1}{n-1}$

(10)

Linja-arvioinnilla saadun pinta-alan tarkkuus on siis riippuvainen asianomaista aluetta leikkaavien linjojen lukumäärästä. Linjaväli ei ole arvion tarkkuuteen suoranaisesti vaikuttava tekijä, mutta sitä voidaan tarkastella sellaisena silloin, kun linjojen kulkusuuntaan nähden kohtisuorassa oleva alueen sivu on tietyn pituinen, jolloin linjojen lukumäärä on linjavälin funktio.

Edellä on tarkastelun kohteena ollut suorakaiteen muotoinen pinta-ala. Sitä arvioitaessa on edullisin linjasuunta ilmeisestikin lyhyemmän sivun suuntainen, jolloin aluetta leikkaavien linjojen lukumäärä samalla linjojen kokonaispituudella on suurin mahdollinen. Tilanne on olennaisesti toinen, kun arvioitavan alueen muoto poikkeaa suorakaiteesta.

Piiroksessa 3 on esitetty kolmion muotoinen alue ja sitä leikkaavat 5 arvioimislinjaa. Kun sitä verrataan piirroksiin 1 ja 2, voidaan todeta, että samaa linjalukua käytettäessä on virhe suurempi, jos alue on kolmio, kuin jos se olisi sama-alainen suorakaide, jonka pitempi sivu on kolmion kannan pituinen. Kolmion pinta-alaa arvioitaessa syntyvä suurin mahdollinen virhe selvitetään esim. siten, että piirretään suorakaide, jonka linjojen suuntainen sivu on kolmion korkeuden pituinen ja toinen sivu niin pitkä kuin siitä tulee säilytettäessä suorakaide ja kolmio sama-alaisina. Piirroksessa 3 on kolmiosta muunnettu suorakaide rajoitettu katkoviivalla. Muunnettua suorakaidetta leikkaa 3 linjaa, ja suurin virhe kaavalla (8) on $1/5$. Jos taas kuvio olisi ollut suorakaide, jonka



Piirros 3. — Fig. 3.

pisin sivu on kolmion kannan pituinen, leikkaisi sitä samaa linjaväliä käytettäessä 5 linjaa, ja suurin virhe olisi $1/9$, eli huomattavasti pienempi kuin edellä.

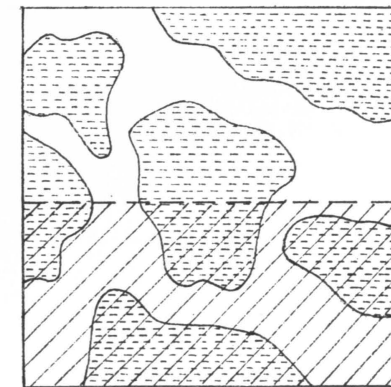
Arvioitavan alueen edullisin muoto on siis suorakaide. Sen pinta-ala saadaan sitä tarkemmin, mitä suurempi linjaluku on. Jos alueen muoto poikkeaa suorakaiteesta, voidaan arvion virhe selvittää seuraavalla tavalla: Alue muunnetaan sama-alaiseksi suorakaiteeksi siten, että suorakaiteen linjojen suuntainen sivu on yhtä pitkä kuin alkuperäisen alueen pisin halkaisija linjojen suunnassa, ja toinen sivu niin pitkä, kuin miksi se tulee. Tämän jälkeen todetaan, kuinka monta alkuperäisen alueen linjaa leikkaa muunnettua suorakaidetta, ja lasketaan linjaluvun perusteella suurin mahdollinen virhe.

23. Osapinta-alan jakaantumisen vaikutus arvion tarkkuuteen

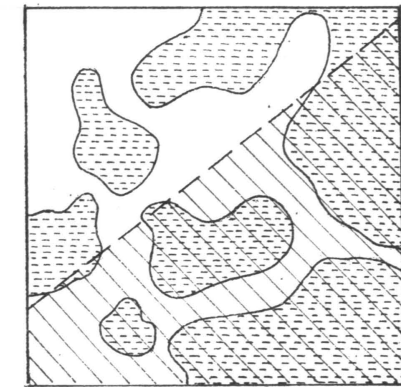
Linja-arvioinnilla saatavan tuloksen katsotaan olevan sen tarkemman, mitä yhtenäisempi ja homogeenisempi metsäalue on, ts. mitä tasaisemmin kokonaisuuden alaluokkiin kuuluvat kuviot jakaantuvat alueelle. Jos kunkin osapinta-alan arvion tarkkuutta tarkastellaan erikseen, on se riippuvainen tämän osapinta-alan jakaantumisesta alueelle (vert. NÄSLUND 1930 ja MATÉRN 1959).

Piirroksissa 4 ja 5 esitetyt, katkoviivoilla varustetut kuviot edustavat jotain osapinta-alaa, esim. kasvullista metsämaata. Näiden kuvioiden pinta-ala on tarkoitus arvioida linjastolla, jonka suunta on piirroksissa alhaalta ylöspäin, ja jossa linjaväli on kummallakin alueella sama, so. molemmille alueille tulee yhtä monta linjaa. Tutkittaessa kummalla alueella arvio on tarkempi projisioidaan kasvullisen metsämaan kuviot piirrosten alalaidalle. Piirroksessa 4 projisiointikuviot (vinoviivoitetut) on likimain suorakaide ja piirroksessa 5 lähinnä kolmio. Edellä esitetyn perusteella on pääteltävissä, että arvion tarkkuus on piirroksessa 4 suurempi kuin piirroksessa 5.

Piirroksessa 5 on osapinta-ala ryhmittynyt ja kasaantunut alueen oikealle laidalle. Jos osapinta-alan kuviot projisioitaisiin tälle laidalle, olisi projisiointi-



Piirros 4. — Fig. 4.



Piirros 5. — Fig. 5.

kuvio lähempänä suorakaidetta kuin kolmiota, ja tarkimman tuloksen antava linjasuunta kulkisi vasemmalta oikealle.

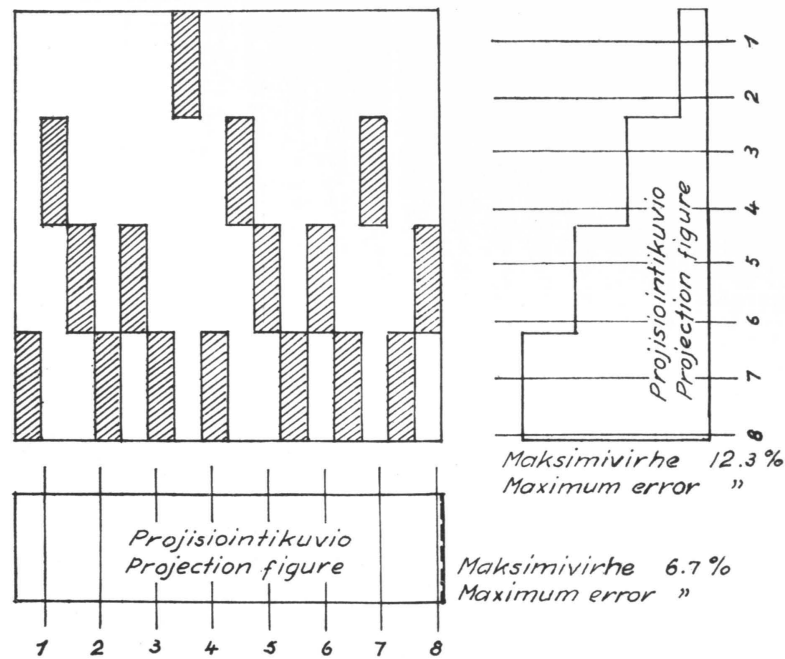
Kun haetaan linjasuuntaa, joka antaa tarkimman tuloksen jollekin osapinta-alalle, ja jos kokonaisalue on likimain neliö, projisioidaan osapinta-ala neliön viereisille sivuille. Edullisin linjasuunta on se, joka leikkaa lähinnä suorakaidetta muodoltaan olevan projisiointikuvion.

24. Kuvioiden pitkittäissuunnan vaikutus arvion tarkkuuteen

Kun edellisessä luvussa määritettiin edullisimman linjasuunnan peruste, ei siihen sisällynyt osapinta-alan kuvioiden mahdollinen pitkittäissuunta. Kuvioiden pitkittäissuunta ei olekaan linjasuuntaan vaikuttava tekijä sellaisenaan. Tätä on havainnollistettu piirroksessa 6. Alueelle piirretyt vinoviivoitetut suorakaiteet esittävät osapinta-alan kuvioita, jotka on projisioitu sekä pysty- että vaakasuunnassa. Alalaidan projisiointikuviot on suorakaide ja sivulaidan lähinnä kolmio. Tämän perusteella on se linjasuunta edullisin, joka yhtyy osapinta-alan kuvioiden pitkittäissuuntaan, eli siis täysin päinvastoin kuin mikä on yleinen ohje (vert. sivu 15).

Jos osapinta-ala arvioidaan kahdeksalla linjalla, on suurin mahdollinen virhe pystysuoraa linjasuuntaa käytettäessä ja kaavalla (8) laskettuna $1/15$ eli 6.7% . Vaakasuoraa linjasuuntaa käytettäessä on virhe $1.75/14.25$ eli 12.3% . Kuvioiden pitkittäissuunnan kanssa kohtisuorassa oleva linjasuunta antaa siis lähes kaksi kertaa niin suuren virheen kuin kuvioiden pitkittäissuuntaan yhtyvä linjasuunta.

Osapinta-alan pitkittäissuunnalla ei ole sinänsä vaikutusta edullisimpaan



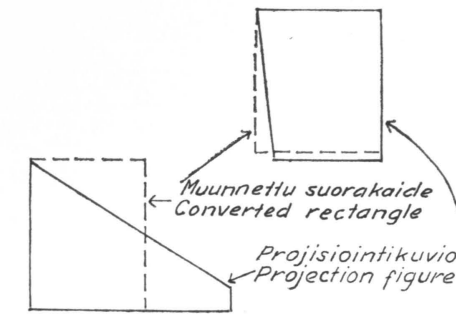
Piirros 6. — Fig. 6.

linjasuuntaan eikä arvion tarkkuuteen. Kuitenkin on ilmeistä, että kuv.o.den pitkittäissuunta usein osoittaa alueen sen laidan, jolla projisointikuvio on lähinnä suorakaidetta, ja joka on kohtisuorassa edullisinta linjasuuntaa vasten.

25. Edullisimman linjasuunnan ja tarpeellisen linjaluvun määrittäminen

Edullisinta linjasuuntaa määritettäessä on aluksi ratkaistava, mikä arvioitavista osapinta-aloista on tärkein ja halutaan tarkimpana. Jos se on esim. kasvullinen metsämaa, tutkitaan karttojen perusteella, miten se on jakaantunut alueelle. Perusteellisimmassa selvittelyssä projisoidaan kasvullisen maan kuviot alueen viereisille laidoille ja kumpikin projisointikuvio muunnetaan suorakaiteeksi tavalla, joka on esitetty sivulla 20. Edullisin on se linjasuunta, jota ja samaa linjaväliä käytettäessä mahdollisimman moni linja leikkaa projisointikuvioista muunnettua suorakaidetta.

Menettelyä on havainnollistettu piirroksessa 7. Osapinta-alan projisointi on suoritettu alueen alalaidalle sekä oikealle laidalle. Projisointikuvio on piirretty yhtenäisellä viivalla ja niistä muunnetut sama-alaiset suorakaiteet katkoviivalla. Piirroksessa vaakasuora linjasuunta antaa suuremman suorakaidetta leikkaavien



Piirros 7. — Fig. 7.

linjojen luvun kuin pystysuora linjasuunta siitäkin huolimatta, että alueen sivu on oikealla laidalla lyhyempi kuin alhaalla.

Edellä kuvattu perusteellinen selvittely on käytännössä useimmiten tarpeeton eikä se ole esim. karttojen puuttuessa mahdollinenkaan. Jos alue on muodoltaan likimain neliö, on sopiva linjasuunta kohtisuorassa vasten sitä sivua, jonka puoleiselle laidalle osapinta-alan kuviot ovat keskittyneet. Kun alue on muodoltaan pitkänomainen, on edullisin linjasuunta useimmiten lyhyemmän sivun suuntainen. Osapinta-alan kuvioiden pitkittäissuunta on myös usein kohtisuorassa edullisinta linjasuuntaa vastaan.

Tarpeellisen linjaluvun laskeminen suoritetaan esim. kaavalla (8). Jos suurin sallittu virhe on 1 %, saadaan tarpeelliseksi linjaluvuksi (n):

$$\frac{1}{2n-1} = \frac{1}{100}; \quad n = 50.5$$

Kun 51 linjaa leikkaa suorakaiteeksi muunnetun projisointikuvion, voi pinta-alan virhe olla enintään 1 %. Ellei projisointikuvio tunnettu, valitaan edullisin linjasuunta jonkun muun edellä esitetyn perusteen mukaan. Linjaväli määritetään sellaiseksi, että alueelle tulee vähintään tarkkuusvaatimusta vastaava linjaluku. Jos arvioitavan osapinta-alan osuus kokonaisalasta on pieni eikä sen ryhmittymistä kokonaisalueelle tunnettu lähemmin, on aihetta laskea linjaluku kaavalla (10).

Jos suurin virhe on $\pm 1\%$, vaihtelee arvioiden virhe ilmeisestikin siten, että lähellä äärimahdollisuutta olevat virheet esiintyvät pienemmällä todennäköisyydellä kuin siitä kauempana olevat virheet. Käytännössä arvion tarkkuudeksi ilmoitetaan tavallisesti arvo, jota suurempi virhe esiintyy harvoin, esim. yhdessä tapauksessa kahdestakymmenestä, ts. arvion tarkkuus on ilmoitetun suuruinen 95 %:n todennäköisyydellä. Aritmeettisen keskiarvon tätä luotettavuuden tasoa olevaa tarkkuutta osoittaa $\pm 2s_x$.

Vastaavasti voidaan linjoilla saatavan pinta-alan arvion tarkkuusluvun suhteen olettaa, että arviointien virheet vaihtelevat yleisen lukuisuusikäyrän mukaisesti, ja että vaihtelun väli on likimain $\pm 3s_x$. Olettamus ei ole matemaattisesti moitteeton, mutta sen perusteella voidaan arvion tarkkuus selvittää käytäntöä varten. Jos haluttua tarkkuussadannesta merkitään p :llä, tarvitaan sen saavuttamiseksi 95 %:n todennäköisyydellä linjaluku, joka lasketaan kaavalla:

$$\frac{1}{2n-1} = \frac{3}{2} \times \frac{p}{100} \quad (11)$$

1 %:n tarkkuus saadaan kaavan mukaan, kun 33 linjaa leikkaa projisiointikuviosta muunnetun suorakaiteen.

26. Päätelmät

Linja-arvioinnilla saatavan osapinta-alan tarkkuus on riippuvainen asianomaisen osapinta-alan ryhmittymisestä alueelle ja sen kuvioita leikkaavien linjojen lukumäärästä. Edullisin linjasuunta määräytyy ryhmittymisen perusteella ja se selvitetään seuraavasti:

Osapinta-alan kuviot projisioidaan kokonaisalueen sivuille. Projisiointikuviot muunnetaan sama-alaisiksi suorakaiteiksi siten, että suorakaiteen sivu mahdollisessa linjasuunnassa on yhtäsuuri kuin projisiointikuvion pisin halkaisija samassa suunnassa. Tällöin suorakaiteen linjasuunnan suhteen kohtisuorassa oleva sivu tulee niin pitkäksi, kuin suorakaiteen pinta-ala edellyttää. Se linjasuunta, jota ja muuttumatonta linjaväliä käytettäessä suurin määrä linjoja leikkaa suorakaiteen, on edullisin. Linjasuunta voidaan usein päätellä tarkastelemalla osapinta-alan ryhmittymistä alueelle sekä osapinta-alan kuvioiden pitkittäissuunnan perusteella.

Halutun tarkkuuden saavuttamiseksi tarpeellinen linjaluku selvitetään kaavoilla (8), (9) ja (10), jotka osoittavat suurimman mahdollisen virheen ja projisiointikuviosta muunnettua suorakaidetta leikkaavien linjojen lukumäärän välisen riippuvuussuhteen. Käytäntöä varten sopii hyvin kaava (11), jonka mukainen tarkkuus saavutetaan 95 %:n todennäköisyydellä. 13 linjaa antaa 3 %:n tarkkuuden, 5 linjaa 7.4 %:n tarkkuuden jne.

Silloin kun yksi osapinta-aloista, esim. kasvullinen metsämaa, on selvästi tärkein, on edullisimman linjasuunnan ja tarpeellisen linjaluvun määrittäminen suhteellisen yksinkertaista. Useimmiten on kuitenkin kysymys useammasta kuin yhdestä tärkeästä osapinta-alasta, jotka voivat ryhmittyä eri tavalla kokonaisalueelle. Niinpä arvioitaessa puuston määrää on suurikuutioisimpien puustokuvioiden ryhmittymisen yhtä tärkeä tekijä kuin kasvullisen metsämaan ryhmittymisen.

Esitettyä näkökohtaa valaisee esimerkki, jossa kasvullinen metsämaa jakaantuu tasaisesti alueelle, mutta suurikuutioiset puustokuviot keskittyvät nelion muotoisen kokonaisalueen länsilaidalle ja pienikuutioiset uudistusalat itälaidalle. Kasvullisen maan jakaantumisen kannalta on linjasuunta pohjoisesta etelään tai idästä länteen yhtä edullinen, mutta puustokuvioiden jakaantumisen perusteella edullisin suunta on idästä länteen. Jos eri näkökohdat edullisimman linjasuunnan suhteen ovat keskenään ristiriidassa, pyritään valitsemaan se suunta, jolla saadaan paras kokonaisratkaisu.

Toisena esimerkkinä tarkasteltakoon tapausta, jossa metsäalueen läpi kulkee lounaasta koilliseen joki. Joen varrella on laajoja soita. Kangaskuvioiden pitkäsuunta on luoteesta kaakkoon. Joki on puutavaran kaukokuljetusväylä, ja tämän vuoksi jokea lähimmät alueet ovat voimakkaasti hakatut. Suurikuutioisimmat puustot ovat joen suuntaisina kaistaleina alueen kumpaisellakin laidalla. Puuston inventoinnin kannalta edullisin linjasuunta on ilmeisestikin luoteesta kaakkoon, vaikka se yhtyykin kangaskuvioiden pituussuuntaan.

Mitä tulee linjalukuun, katsottiin se esim. valtion metsien inventoinneissa vuosina 1951—55 riittäväksi, jos yksityistä hoitoaluetta leikkasi vähintään 6—7 linjaa. Eräissä Pohjois-Suomen hoitoalueissa tyydyttiin 4—5 linjaan (LINNAMIES 1959, s. 10—11). Koska linjasuunta oli yli koko maan sama, ei se ilmeisestikään jokaisen hoitoalueen kohdalla ollut mahdollisimman edullinen. Voidaankin pitää todennäköisenä, että yksityisten hoitoalueiden kohdalla on linjapituuksien perusteella saatu kasvullisen metsämaan ala saattanut poiketa 5—15 %, ehkä enemmänkin, kartoituksen perusteella saaduista pinta-aloista. Kun kuutiomäärä on pinta-alan ja keskikuution tulo, on kuutiomäärän arvion virhe suurempi kuin pinta-alan virhe, sillä jokaisella otantaan perustuvalla keskikuutioillakin on oma tilastollinen virheensä.

Ellei linjasuunta ole sopiva arvioinnin kannalta merkityksellisimmän pinta-alan suhteen, saattaa linjoilla suoritettujen havaintojen vaihteluun ja lukumäärään perustuva arvion tarkkuuden tunnus olla harhaanjohtava. Näkökohta voidaan ilmaista myös siten, että tunnuksen vaihtelu linjalla on pienempi kuin linjojen ulkopuolelle jäävillä alueilla.

Edellä esitetty koskee myös koeala-arviointia, jossa koealat sijoitetaan maastoon linjoittain. Ellei linjasuunta ole suurikuutioisimpien puustokuvioiden ryhmittymisen suhteen sopiva, on koealojen edustavuus sitä pienempi, mitä lyhyempi on koealaväli verrattuna linjaväliin. Samalla koealojen lukumäärällä saadaan luotettavin tulos, kun koealaväli on yhtäsuuri kuin linjaväli. Tällöin kysymyksessä ei ole kuitenkaan enää linja-arviointi sanan varsinaisessa merkityksessä, vaan kulku koealalta toiselle tapahtuu linjoittain. Toisaalta jos koealaväli on lyhyempi kuin linjaväli, lyhenee työryhmän kulkuun käyttämä aika ja arviointi nopeutuu. Tämä tapahtuu kuitenkin koealojen edustavuuden kustannuksella, ellei linjasuunta ole oikea. Jos taas linjasuunta on oikea, ei koeala-arvioinnin tarkkuus kärsi, vaikka koealaväli olisikin linjaväliä lyhyempi.

3. Kuutiotunnusten vaihtelu Inarin männiköissä ja sen huomioonottaminen puuston inventoinnissa

31. Aineiston sopivuus aiheen tutkimiseksi

Puuston tunnuksista on tarkoitus tutkia koealakuutioiden ja koepuiden kuutioiden vaihtelua. Kuten aiemmin on jo esitetty, aineiston koealat sijoitettiin maastoon linjoittain ja siten, että koealaväli on 1 km ja linjaväli 5 km. Kysymyksessä on siis systemaattinen otanta, jossa yksityisen koealan edustavuus ei ole paras mahdollinen. Tämän vuoksi koealakuutioiden vaihtelun tunnuksukset eivät ehkä täsmälleen osoita metsiköiden kuutiomäärien todellista vaihtelua. Toisaalta on todennäköistä, että näkökohdan merkitys on lähinnä teoreettinen (vert. sivut 7 ja 10). Hoitoalueen karttojen perusteella voidaan todeta, että linjasuunta on ollut kutakuinkin oikea suhteessa metsä- ja metsikkötyyppien ryhmittymiseen alueella.

Kasvullisen metsämaan koealojen lukumäärä, 289 kpl, on riittävän suuri tarkoitusta varten. Tärkeimmistä metsätyypeistä EVT:llä on koealoja 87, EMT:llä 80 ja ErC1T:llä 83. Nämäkin määrät ovat niin suuret, että vaihtelun tunnuksukset saadaan riittävän tarkkoina ainakin uusien inventointien suunnittelua varten. Muihin kasvupaikan laadun mukaisiin ryhmiin, joiden taloudellinen merkitys on suhteellisen pieni, sisältyy vähän koealoja, mutta antavat nekin viitteitä asianomaisten kasvupaikkojen puustosta.

Puuston ikärakenne on varsin yksipuolinen. Koealakuutioiden vaihtelusta saadaan luotettavia tietoja vain ikäluokista 140, 180, 220 ja 260 v. Taimistoihin ja nuoriin metsikköihin sattuneita koealoja on hyvin vähän, mutta toisaalta näihin kehitysluokkiin kuuluvia metsiköitä on alueella myös niin vähän, että niillä ei ole sanottavaa merkitystä inventointien suunnittelun kannalta.

Uudistettavissa metsiköissä on koealoja 130, väljennysmetsiköissä 67 ja harvennismetsiköissä 41, joten näiden kehitysluokkien osalta tiedot ovat suhteellisen luotettavat. On kuitenkin todettava, että metsien yli-ikäisyyden vuoksi puustotunnukset eivät kuvaa keskimääräisiä kehitysluokkia. Taimistoja ja nuoria metsiköitä on koealoissa vain 18 eivätkä nekään ole tyyppillisiä runsaan ylispuuston vuoksi. Koska aineiston keräämisen jälkeen hoitoalueen metsiä on hakattu voimakkaasti, tarvittaisiin uusien inventointien suunnittelua varten tie-

toja hakattujen metsiköiden tunnuksista. Niitä ei aineiston perusteella voida esittää ollenkaan.

Tiheyden suhteen koealat ovat kasaantuneet luokkiin, joiden tiheys on suurempi kuin 0.5. Koska koealametsiköt ovat kutakuinkin hakkaamattomia, pitäisi mahdollinen tiheyden vaikutus läpimittaluokkien keskipuiden kuutioihin olla selvitettävissä.

Puita on luettu kasvullisella metsämaalla 17 712 kpl ja huonokasvuisella metsämaalla 995 kpl. Niiden perusteella saadaan varsin luotettava kuva puuston jakaantumisesta 2 cm:n läpimittaluokkiin. Koepuita on kasvullisella metsämaalla 2 710 kpl ja huonokasvuisella metsämaalla 174 kpl. Tärkeimmissä läpimittaluokissa, 11—35 cm, on riittävästi koepuita kuution vaihtelun selvittämiseksi. Koepuiden osittainen subjektiivinen valinta heikentää kuitenkin jossain määrässä aineistoa.

Aineisto on siksi runsas, että sen perusteella saadaan riittävästi tietoja uusien inventointien suunnittelua varten. Hakattujen metsiköiden osalta rakenne jää selvittämättä. Taimistoihin ja nuoriin metsikköihin sattuneita koealoja olisi voinut olla runsaammin. Kun hakatuille alueille saadaan aikanaan taimistoja ja nuoria metsiköitä, muuttuu puuston runkolukusarjan rakenne suuresti. On mahdollista, että myös puiden kuution vaihtelu pienimmissä läpimittaluokissa muuttuu. Nämä seikat samoin hakkuiden vaikutus vanhan puuston rakenteeseen jäävät tulevaisuudessa suoritettavissa inventoinneissa selvitettäväksi.

32. Kuutiotunnusten vaihtelu ja arvion tarkkuus

321. Koealakuutioiden vaihtelu ja sen vaikutus keskikuution arvion tarkkuuteen sekä tarpeelliseen koealojen lukumäärään

Kasvullisten maiden koealoja tarkastellaan yhtenä kokonaisuutena ja kehitys- sekä ikäluokittain. Ryhmittäin on laskettu kuutioiden keskiarvo, hajonta, variaatiokerroin, keskivirhe, kuinka monta sadannesta keskivirhe on keskiarvosta ja kuinka monta koealaa tarvitaan, jos keskivirheen suuruudeksi halutaan 3 % keskiarvosta. Kuutiomäärä on kuorellista puuta $k\text{-m}^3$:ssä, ellei toisin ilmoiteta. Kehitysluokittaiset tulokset on esitetty taulukossa 3.

Kasvullisilla metsämailla mitattujen koealojen keskikuutio on 66.2, hajonta 34.0, variaatiokerroin 0.51 ja keskivirhe 2.0. Koealakuutioiden vaihtelu on ollut pienin harvennus ja uudistusmetsiköissä ja suurin taimistoissa. Viimeksimainituissa kuution vaihtelu johtuu ylispuusta.

Koska vastaavanlaisia tietoja koealakuutioiden vaihtelusta Etelä-Suomen metsissä ei ole julkaistu, ei vertailuja voida tehdä. GIRARD ja GEVORKIANTZ (1939) ilmoittavat arviointien suorittajille ohjeeksi, että kasvupaikan ja puuston eroista johtuen variaatiokerroin vaihtelee välillä 0.33—0.82, kun koeala on liki-

main 0.10 ha:n suuruinen. Näihin ääriarvoihin verrattuna on Inarin männiköiden kuution vaihtelu kutakuinkin keskimääräinen. Niillä Amerikan metsäalueilla, missä taloudellisesti merkittävä puusto on hajanaista ja ryhmittäistä, tai missä esiintyy lukuisia puulajeja, variaatiokerroin on tuntuvasti suurempi.

Taulukko 3. Koealojen kuutiomäärien (m³/ha) vaihtelu kehitysluokittain.
Table 3. Variability of the sample plot volumes (m³/ha) by development stages.

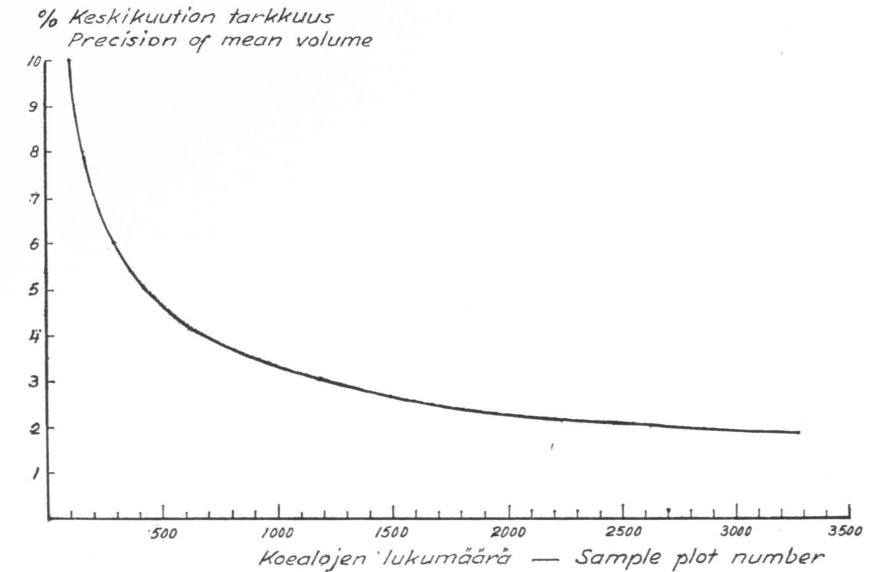
Kehitysluokka ¹ Development stage ¹	n	\bar{x}	s	c.v.	$s_{\bar{x}}$	$100 \frac{s_{\bar{x}}}{\bar{x}}$	$\frac{n \text{ kun } \bar{x}}{s_{\bar{x}} = 3/100 \cdot \bar{x}}$ $\frac{n \text{ when } \bar{x}}{s_{\bar{x}} = 3/100 \cdot \bar{x}}$
1	18	35.1	17.9	0.51	4.3	12.2	290
2	41	74.5	32.6	0.44	5.1	6.8	210
3	67	82.0	39.2	0.48	4.8	5.9	254
4	130	67.4	28.6	0.42	2.5	3.7	201
5—7	33	36.5	17.9	0.49	3.1	8.5	265
Yht. — Total	289	66.2	34.0	0.51	2.0	3.0	289

Kaikki mitatut 289 koealaa, joiden suuruus on 0.10 ha, antavat keskikuution 6 %:n tarkkuudella, so. kaksinkertainen keskivirhe on 6 % keskiarvosta. Jos katsotaan, että näytteen hajonta on likimain yhtä suuri kuin populaation hajonta ($s \approx S$), kuten yleisesti tehdään suunniteltaessa inventointia ohjenäytteen perusteella, saadaan 2 %:n tarkkuus 2 638 koealalla, 5 %:n tarkkuus 412 koealalla jne. (kaava (3) s. 13). Piirroksessa 8 on esitetty käyrä, joka osoittaa, kuinka monta koealaa tarvitaan, kun keskikuution tarkkuus vaihtelee 2—10 %:in noin 95 %:n luotettavuuden tasolla.

Arvioimissadannes vaikuttaa tilastollisen virheen suuruuteen silloin, kun koealojen lukumäärä verrattuna alueelle kaiken kaikkiaan mahtuviin koealoihin on niin suuri, että näyte voidaan katsoa otetuksi äärellisestä populaatiosta. Kun suhde n/N , jossa n on koealojen lukumäärä ja N inventoitavan alueen pinta-ala jaettuna koealan pinta-alalla, on vähintään 0.05 (koealojen yhteinen pinta-ala on 5 % metsäalueen pinta-alasta), lasketaan keskivirhe kaavalla (2) ja tarpeellinen koealojen lukumäärä halutun suuruisen keskivirheen saamiseksi kaavalla (4) (vert. LINDSEY, . . . 1958).

Kehitysluokittaisia vaihtelun tunnuksia tarkasteltaessa voidaan todeta (taulukko 3), että ositteiden variaatiokerroin eli suhteellinen vaihtelu on vain vähän pienempi kuin koko populaation vaihtelu. Kehitysluokat eivät siis muodosta niin yhtenäisiä kuutiomääräluokkia, että niistä saataisiin ositteita kokonaisuus-

¹ 1 = taimistot — seedling and sapling stands, 2 = harvennusemetsiköt — thinnable stands, 3 = väljennusemetsiköt — stands in preparatory stage, 4 = uudistettavat metsiköt — regeneratable stands, 5—7 = muut metsiköt — other stands.



Piirros 8. Suuruudeltaan 0.10 ha:n koealojen lukumäärän ja keskikuution tarkkuuden välinen suhde, kun luotettavuuden taso on 95.44 %.

Fig. 8. Number of 0.10 ha. sample plots and the precision of the mean volume on 95.44 % confidence interval.

ton tilastollista stratifiointia varten. Todennäköisesti ja ainakin osittain tämä johtuu olosuhteista sikäli, että suurin osa Inarin männiköistä on yli-ikäisiä, ja että kehitysluokkien arvostelu niissä on ollut tulkinnanvaraista ja epämääräistä. Koska toistaiseksi ei ole tietoa koealakuutioiden vaihtelusta kehitysluokittain Etelä-Suomen voimaperäisemmissä olosuhteissa, ei voida tehdä yleistäviä päätelmiä kehitysluokkien sopivuudesta stratifiointin perustaksi.

Keskikuutio on selvästi suurin väljennusemetsiköissä ja harvennusemetsiköissäkin se on suurempi kuin uudistettaviksi arvioituissa metsiköissä. Tämäkin osaltaan osoittaa vanhojen metsiköiden harvuutta ja aukkoisuutta. Kehitysluokkien keski-ikä on siksi korkea (piirros 9 s. 42), että ikänsä puolesta väljennusemetsiköt ovat uudistettavia ja harvennusemetsiköt väljennettäviä. Metsien yli-ikäisyyden vuoksi on uudistettaviksi katsottu lähinnä ne metsiköt, joissa on luontaisesti muodostuneita pienehköjä aukkoja ja hajanaista alikasvostaimistoa. Väljennusemetsiköiksi on taas arvioitu sulkeutuneet ja luonnontilassa kasvamisen vuoksi pienikokoisia puita sisältävät metsiköt. Kehitysluokat poikkeavat siis suuresti niistä kehitysluokista, joita erotetaan metsissä, missä ikä ja järeys vastaavat paremmin toisiaan.

Taulukossa 4 on esitetty keskikuutio ja vaihtelun tunnuksat ikäluokittain. Nuorimmissa ja vanhimmissa ikäluokissa on niin vähän koealoja, että taulukossa on vain niihin sattuneiden koealojen lukumäärä. Vertailu taulukon 3 lukuihin

Taulukko 4. Koealojen kuutiomäärän vaihtelu ikäluokittain.

Table 4. Variability of the sample plot volumes by age classes.

Ikäluokka, v. Age class, y.	n	\bar{x}	s	c.v.	$s_{\bar{x}}$	$100 \frac{s_{\bar{x}}}{\bar{x}}$	$\frac{n \text{ kun}}{s_{\bar{x}} = 3/100 \cdot \bar{x}}$ $\frac{n \text{ when}}{s_{\bar{x}} = 3/100 \cdot \bar{x}}$
20—60	2	—	—	—	—	—	—
100	16	58.6	36.6	0.63	9.2	15.7	432
140	41	54.4	30.0	0.55	4.7	8.7	339
180	90	69.3	36.1	0.51	3.6	5.2	301
220	74	65.5	29.6	0.45	3.4	5.2	226
260	41	68.3	34.0	0.50	5.3	6.7	275
300	13	83.0	40.4	0.49	11.2	13.5	263
340—380	3	—	—	—	—	—	—
Yht. — Total	289	66.2	34.0	0.51	2.0	3.0	289

osoittaa, että ikäluokittainen koealakuutioiden vaihtelu on jonkin verran suurempi kuin kehitysluokittainen. Hakattujen metsiköiden lisääntyessä ero ilmeisesti suurenee, sillä silloin kuuluu vanhimpiin ikäluokkiin likimain täysitiheiden metsiköiden ohella myös pienikuutioisia uudistamisvaiheessa olevia metsiköitä. Kun otetaan vielä huomioon, että kehitysluokista on todennäköisesti saatavissa selvempiä kuutiomääräluokkia, kuin mitä ne ovat tässä aineistossa, sopivat ne ikäluokkia paremmin inventoinnissa käytettävän puuston stratifioinnin perustaksi.

322. Koealoiden kuutioiden vaihtelu 2 cm:n läpimittaluokissa

Aineiston koeput on kuutioitu rinnantasalta mitatun läpimitan (d), pituuden ja kapenemislukan perusteella käyttäen ILVSSALON (1948) kuutioimistaulukoita. Kuutiomäärien vaihtelu on esitetty taulukossa 5 muutamien tärkeimpien läpimittaluokkien osalta. Alle 10 cm olevat puut on jätetty pois senvuoksi, että niitä on suhteellisen vähän, ja että niiden merkitys on inventoinnin kannalta vähäinen. Suurimpien puiden lukumäärä on myös pieni, ja jos inventoinnissa otetaan kaikki 36 cm:ä paksimmat koealoilla luetut puut koeputiksi, ei niiden vaihtelulla ole merkitystä, koska näiden läpimittaluokkien kohdalla ei esiinny tilastollista virhettä ollenkaan.

Variaatiokertoimia tarkastelemalla voidaan todeta, että suhteellinen vaihtelu on likimain yhtä suuri kaikissa läpimittaluokissa. Pienin se näyttää olevan niissä läpimittaluokissa, joissa Inarin männiköiden ikärakenteesta johtuen on pääasiassa välipuita. Suurin se on paksuimpien puiden kohdalla. Keskimäärin variaatiokerroin on 0.18.

Aineiston kuvaamisen yhteydessä on jo todettu, että koealoiden osittaisesti subjektiivisen valinnan vuoksi niistä puuttuvat todennäköisesti poikkeukselliset

Taulukko 5. Koealoiden kuutioiden vaihtelu muutamissa 2 cm:n suuruisissa läpimittaluokissa.

Table 5. Variability of the sample tree volumes in some DBH-classes of 2 cm.

d, cm	n	\bar{x}	s	c.v.
11	176	0.0445	0.0080	0.180
13	191	0.0648	0.0117	0.181
.				
21	216	0.2160	0.0376	0.174
.				
27	180	0.3860	0.0688	0.178
.				
33	108	0.6241	0.1140	0.183
35	98	0.7200	0.1516	0.211

simmat yksilöt. Kuutioiden vaihtelu voi olla siksi jonkun verran pienempi kuin todellisuudessa. On myös huomattava, että käytetyistä taulukoista saadut arvot eivät ole puiden todellisia kuutioita, vaan ne osoittavat, mikä on puun kuutio keskimäärin yhden senttimetrin tarkkuudella mitatun läpimitan, yhden metrin tarkkuudella mitatun pituuden ja yhden senttimetrin tarkkuudella mitatun kapenemislukan funktiona. Yksikkökuutiot ovat siis jo nekin tasoitettuja arvoja. Inarin mäntyjen kohdalla yksikkökuutioissa voi olla systemaattista virhettä, sillä kuutioimistaulukot on laadittu koko maata varten, ja runkomuodon suhteen aineisto on ilmeisestikin vaihtelun äärialueita.

Tutkimuksen tarkoituksen kannalta on ensiksi mainittu näkökohta merkityksellisin, koska on mahdollista, että vaihtelu on todellisuudessa suurempi, kuin mitä saadut luvut osoittavat. Mikäli uusissa inventoinneissa koeput valitaan objektiivisesti, on vaihtelun tunnuksat tarkistettavissa. Mainittakoon, että puiden kuutiomäärän vaihtelua tutkittaessa on menetelty niinkin, että aineistosta on tarkoituksellisesti karsittu poikkeukselliset yksilöt (LISSDANIELS 1947).

Kuutioimistaulukkoa koskevilla huomautuksilla on tämän selvittelyn kannalta vähäisempi merkitys. Taulukot tarjoavat tällä hetkellä tarkimman menetelmän puiden kuutioimiseksi maassamme. Käytännön inventoinneissa voidaan kiinnittää huomiota vain niitä käytettäessä todettaviin tilastollisiin virheisiin. Yksikkökuutioiden mahdollinen systemaattinen virhe ei sisälly tutkimuksen aiheisiin.

Esitetyt aineistoa koskevat huomautukset on pidettävä mielessä, kun vaihtelun tunnuksia verrataan muiden tutkimusten tuloksiin. Niinpä NÄSLUND (1944) on todennut, että 2.5 cm:n luokissa mitattujen koeputkuutioiden mukainen variaatiokerroin on sitä pienempi, mitä paksuimmista puista on kysymys. Läpimittaluokassa 10—12.5 cm se on metsäalueelta mitatuilla männyillä 0.29, läpimittaluokassa 20—22.5 cm noin 0.18 ja suurimmilla puilla noin 0.12. Pienimpien puiden osalla eroavuus tämän tutkimuksen tulokseen verrattuna voi joh-

tua hieman suuremmasta läpimittaluokasta ja toisenlaisesta kuutioimistavasta. NÄSLUNDIN aineistossa on koepuut valittu objektiivisesti ja puut on kuutioitu pätkittäin, joten kuutiot ovat todellisia tasottamattomia arvoja. Suurten puiden kohdalla taas Inarin männyn pituus ja muoto saattavat vaihdella enemmän kuin samat tunnuksiset etelämpänä. NÄSLUNDIN aineisto on myös metsäaluetta koskevalta osaltaan mitattu yhdeltä boniteetilta, joten tästäkin syystä suurimpien puiden kuutioiden vaihtelu voi olla pienempi kuin aineistossa, johon kuuluu puita usealta eri boniteetilta.

LISSDANIELS (1947) on tutkinut puiden kuution vaihtelua 3 cm:n läpimittaluokissa. Merkittävimmiä vaihtelun vaikuttaviksi tekijöiksi hän toteaa kasvupaikan korkeuden merenpinnasta ja boniteetin. Tästä syystä vaihtelun tunnus on eri suuri eri metsissä. Hänenkin aineistossaan variaatiokerroin pienenee läpimitan suuressa. Se on pienempi kuin NÄSLUNDIN aineistossa. Esim. 18 cm:n luokassa variaatiokerroin on 0.14—0.18 ja 30 cm:n luokassa 0.11—0.15. Syynä variaatiokertoimen pienuuteen on ilmeisestikin se, että aineistosta on poistettu poikkeuksellisia puita.

323. Koepuiden kuution vaihtelun vaikutus luetun puuston kuution arvion tarkkuuteen

Koealoilla luettu puusto on populaatio, josta otetaan koepuiden näyte populaation kuution arvioimiseksi. Luettu puusto jakaantuu läpimittaluokittain ositeisiin, joten kysymyksessä on stratifioitu otanta. Kuhunkin läpimittaluokkaan kuuluvien koepuiden kuutioiden aritmeettinen keskiarvo on läpimittaluokan keskipuun kuution arvio. Kun se kerrotaan läpimittaluokkaan luettujen puiden lukumäärällä, saadaan läpimittaluokan puiden kuution arvio. N on läpimittaluokkaan luettujen puiden lukumäärä ja \bar{x} koepuiden kuutioiden keskiarvo, jolloin läpimittaluokan kuutiomäärä on siis

$$N \bar{x} = V$$

Koko luetun puuston kuutiomäärä ΣV on kaikkien läpimittaluokkien kuutioiden summa, joka inventoinnissa tulee arvioiduksi koepuiden lukumäärän ja niiden kuutioiden vaihtelun mukaisella tarkkuudella.

Kun läpimittaluokkaan kuuluvien koepuiden keskikuution keskivirhe tunnetaan, on läpimittaluokan kuutiomäärän keskivirhe yhtä suuri kuin keskikuution keskivirhe kerrottuna läpimittaluokkaan luettujen puiden lukumäärällä. Edellä esitetyn perusteella voidaan läpimittaluokan kuution keskivirhe laskea seuraavasti:

$$\text{löpimittaluokan kuution keskivirhe} = N s_{\bar{x}} = V \frac{s_{\bar{x}}}{\bar{x}}$$

Koska kokonaiskuutio on läpimittaluokkien kuutioiden summa, saadaan sen keskivirhe ottamalla neliöjuuri läpimittaluokkien keskivirheiden neliöiden summasta:

$$\text{kokonaiskuution keskivirhe} = \sqrt{\Sigma (Ns_{\bar{x}})^2}$$

Taulukossa 6 on laskettu läpimittaluokkiin 3—35 cm luetun puuston kokonaiskuution keskivirhe. Vaihtelun tunnuksena on kaikissa läpimittaluokissa käytetty variaatiokerrointa 0.18. N on asianomaiseen läpimittaluokkaan luetun puuston lukumäärä, \bar{x} koepuiden keskikuutio, V luokan kuutio ja n koepuiden lukumäärä. Taulukosta voidaan todeta, että tekijän $\sqrt{1 - n/N}$ vaikutus on pieni, kun otannan suhde n/N on pienempi kuin 0.05 (vert. s. 13). Sensijaan suurimpien puiden läpimittaluokissa, joista koepuita on otettu suhteellisesti paljon enemmän kuin pienien puiden läpimittaluokista, tekijän vaikutus on tuntuva. Niinpä läpimittaluokassa 35 cm se pienentää kaavalla (1) laskettua keskivirhettä 43 %. Vielä luokassa 19 cm keskivirhe pienenee 14 %.

Keskivirheen vertailu vastaavaan keskikuution osoittaa, että pienimpien puiden läpimittaluokissa se on noin 2 % keskikuutiosta. Muuten se vaihtelee 1 %:n molemmiin puolin pieneten suurimpien puiden läpimittaluokkiin siirryttäessä. Pieneneminen johtuu otannan suhteen suurenemisesta.

Aineiston kaikkien koepuiden perusteella saadaan keskivirhe, joka on 0.28 % luetun puuston kuutiosta. Jos kaikki läpimittaluokat otettaisiin mukaan, tulisi keskivirhe vielä hieman pienemmäksi, sillä tarkastelun ulkopuolelle jääneissä suurimpien puiden läpimittaluokissa keskivirhe pienenee voimakkaasti otannan suhteen suurenemisen vuoksi. Kaikkein suurimmista puista on otettu miltei jokainen koepuiksi (taulukko 2 s. 12), joten niiden kohdalla tilastollinen virhe on merkityksettömän pieni.

Edellä on todettu, että kaikkien koealojen perusteella saatiin puuston keskikuution keskivirheeksi 3 %. Pelkän keskikuution arvioimisen kannalta katsottuna koepuita on tarpeettoman paljon verrattuna koealojen lukumäärään. Jos koepuiden lukumäärää vähennettäisiin ja vastaavasti lisättäisiin koealojen lukumäärää, paranisi keskikuution arvion tarkkuus.

Absoluuttisesti kuutiomäärän keskivirhe on pienin pienimpien puiden läpimittaluokissa, vaikka niistä on otettu suhteellisesti vähiten koepuita. Suurin se on läpimittaluokissa 19—27 cm. Arvion tarkkuuden lisäämiseksi voitaisiin koepuita vähentää pienimpien puiden läpimittaluokista ja ottaa enemmän niistä läpimittaluokista, joiden kuutio on suuri.

324. Tarpeellinen koepuiden määrä ja edullisin jakaantuminen läpimittaluokkiin

Luetun puuston lukumäärän ja puiden kuution vaihtelun perusteella on selvitetävissä tarpeellinen koepuiden määrä ja edullisin jakaantuminen läpimitta-

Taulukko 6. Luetun puuston kuutiomäärän keskivirheen laskenta.
Table 6. Calculation of the standard error of the tallied volume.

d	N	\bar{x}	V	n	$\frac{n}{N}$	$\sqrt{1-\frac{n}{N}}$	s	$s_{\bar{x}}$	$\frac{s_{\bar{x}}}{\bar{x}}$	$V \times \frac{s_{\bar{x}}}{\bar{x}}$
3—5	6 260	.0038	24	76	.01	—	.00068	.000078	.0205	.5
7	1 810	.013	23	50	.03	.98	.0023	.00031	.0238	.5
9	1 450	.025	36	54	.04	.98	.0045	.00061	.0244	.9
11	1 218	.044	54	176	.14	.93	.0079	.00055	.0125	.7
13	1 091	.065	71	191	.17	.91	.0117	.00077	.0118	.8
15	905	.094	85	182	.20	.89	.0169	.00111	.0118	1.0
17	850	.129	110	201	.24	.87	.0232	.00143	.0111	1.2
19	853	.166	142	225	.26	.86	.0299	.00171	.0103	1.5
21	732	.216	158	228	.31	.83	.0389	.00214	.0099	1.6
23	570	.266	152	214	.38	.79	.0479	.00259	.0097	1.5
25	469	.324	152	210	.45	.74	.0583	.00297	.0092	1.4
27	412	.386	159	180	.44	.75	.0695	.00389	.0101	1.6
29	301	.457	138	171	.57	.65	.0823	.00408	.0089	1.2
31	236	.532	126	143	.61	.62	.0958	.00495	.0093	1.2
33	176	.624	110	108	.62	.62	.112	.00670	.0107	1.2
35	144	.720	104	98	.68	.57	.130	.00797	.0111	1.2
Σ	17 477		1 644	2 507	$\Sigma V:n$ keskivirhe Standard error of $\Sigma V = \sqrt{.5^2 + .5^2 \dots + 1.2^2} =$ $\sqrt{22.22} = 4.7$ eli — or 0.28 %					

luokkiin. Tähän voidaan käyttää kaavoja (5), (6) ja (7) sivulta 14. Aluksi tehtävä ratkaistaan kuitenkin likimääräismenetelmällä. Tavoitteena on taulukossa olevan puuston kokonaiskuution arvio 1 %:n keskivirheen eli 16.44 m³:n tarkkuudella.

Kunkin läpimittaluokan (h) kuution keskivirhe ($N_h s_{\bar{x}_h}$) saadaan ratkaisemalla yhtälö

$$\sqrt{16 (N_h s_{\bar{x}_h})^2} = 16.44$$

Keskivirheeksi saadaan 4.1. Kun esim. läpimittaluokkaan 35 cm on luettu 144 puuta, on tämän läpimittaluokan keskikuution keskivirhe

$$s_{\bar{x}} = \frac{4.1}{144} = 0.0285$$

Sitä varten tarpeellinen koepuiden määrä lasketaan kaavalla (4). Kaavaan tarvitaan edellä mainittujen tunnusten lisäksi läpimittaluokan puiden kuution hajonta, joka on 0.130 (taulukko 6). Tarpeelliseksi koepuiden määräksi tulee 18 kpl.

Esitetyllä tavalla saadaan koepuiden lukumääräksi läpimittaluokittain ja yhteensä :

d, cm	3—5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31	33	35	Yht.
n	1	1	3	6	9	14	23	37	45	41	41	44	33	27	20	18	363

Lukusarjan perusteella voidaan todeta, että jos puiden kuution suhteellinen hajonta on sama kaikissa läpimittaluokissa, on koepuita otettava sitä enemmän, mitä suurempi on läpimittaluokan kuutiomäärä, ja että kun suurien puiden läpimittaluokissa luettujen puiden määrä pienenee, pienentää otannan suhteen suureneminen tarvittavien koepuiden määrää.

Kun Inarin männikoissä puusto luetaan noin 300:lta 0.10 ha:n koelalalta, ja kun luetun puuston kuutio halutaan 1 %:n suuruisen keskivirheen tarkkuudella, tarvitaan edellä esitetyn perusteella objektiivisesti valittuja koepuita seuraavat määrät 2 cm:n läpimittaluokista :

d-luokka, cm	13 ja alle	15—17	19—29	29—35	37 ja yli
koepuita, kpl	10	20	40	20	kaikki luetut

Tulosta on kokeiltu siten, että läpimittaluokkaan 3—35 cm kuuluvista aineiston koepuista valittiin esitetyt ohjelukuja noudattaen sattumanvaraisesti 399 koepuuta. Niiden jakaantuminen läpimittaluokkiin on esitetty taulukossa 7, jossa koepuiden lukumäärää osoittavan sarakkeen alla on lukumäärää ja variaatiokerrointa vastaava suhteellinen keskivirhe. Arvion mukaisia keskikuutioita on vielä verrattu koko koepuuaineiston perusteella laskettuihin keskikuutioihin. Luetun puuston suhteen keskivirhe on 0.89 % ja taulukossa 7 kuvatun näytteen perusteella laskettujen läpimittaluokittaisten poikkeamien perusteella laskettu virhe on 0.90 %. Tavoitteeksi asetetun 1 %:n alittaminen johtuu siitä, että koepuiden kokonaislukumäärä on suurempi kuin 363, jolla piti saada 1 %:n tarkkuus.

Koepuiden määrän ja läpimittaluokkiin jakamisen ongelma ratkaistaan edellä esitettyä teoreettisesti oikeammin kaavoilla (6) ja (7). Luetun puuston keskiarvon keskivirheen laskeminen kaavalla (5) antaa kokonaisnäytteen keskiarvon varianssiksi 0.0000000710. Vastaava keskivirhe on 0.000266, ja kun luettujen puiden keskikuutio on 0.0939, saadaan suhteelliseksi keskivirheeksi 0.28 %, eli sama kuin mikä saatiin taulukossa 6.

Kaavaa (6) eli Neymanin kiintiöintä käyttäen on koepuiden optimijakaantuminen läpimittaluokkiin 3—35 cm suhteellisena ja absoluuttisena, kun absoluuttinen kokonaisuus on 399 ja 1 015 kpl, seuraavanlainen:

d, cm	3—5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31	33	35	Yht.
%	1.5	1.4	2.2	3.2	4.3	5.2	6.7	8.7	9.6	9.3	9.3	9.6	8.4	7.7	6.6	6.3	100.0
kpl	6	6	9	13	17	21	27	35	38	37	37	38	33	31	26	25	399
„	15	14	22	33	44	53	68	88	98	94	94	98	85	78	67	64	1 015

Taulukko 7. Luetun puuston läpimittaluokkien 3—35 cm kuutiomäärä 399 koepuun perusteella.
Table 7. Tallied volume of DBH-classes 3—35 cm based on 399 sample trees.

d, cm	3—5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31	33	35	Yhteensä Total
n.....	9	10	11	10	10	20	20	37	38	42	42	45	43	20	22	20	399
$\pm 100 \cdot \frac{s_x}{\bar{x}}$	8.85	5.62	5.01	5.05	5.52	3.86	4.06	2.88	2.79	2.63	2.67	2.54	2.50	3.77	3.56	3.90	0.89
todellinen ero, % actual difference, %	-5.26	± 0	± 0	+2.28	+3.08	+3.19	-1.56	+1.20	+1.85	± 0	-1.25	-0.26	+1.53	+1.69	+1.28	+3.47	+0.90

Kaavan (5) perusteella saadaan 399 koepuulla, joiden jakaantuminen läpimittaluokkiin on optimi, suhteelliseksi keskivirheeksi 0.86 % ja 1 015 koepuulla 0.51 %.

33. Rinnankorkeuden läpimittaan perustuva kuutioimistaulukko ja sen merkitys

Rinnankorkeuden läpimittaan perustuvasta kuutioimistaulukosta saadaan yksikkökuutiot läpimitan funktiona. Sillä voidaan kuutioida välittömästi läpimittaluokkiin luettu puusto. Merkittävin yritys maassamme käyttää sellaista puuston inventoinnissa ovat CAJANUKSEN laatimat taulukot kehitettäessä menetelmää suuren metsäalueen inventoimista varten (ILVESSALO 1923). Rinnankorkeuden läpimittaan perustuvia taulukoita ei inventoinneissamme ole kuitenkaan käytetty muutoin kuin siten, että koepuiden perusteella on laadittu taulukko vain yhtä kuutioimista varten. Muualla sensijaan ovat tällaiset taulukot hyvin yleisiä, ennen kaikkea Keski-Euroopassa kontrollimetodin edellyttämissä inventoinneissa (esim. KNUCHEL 1950).

Syynä kontrollimetodin käytäntöön on se, että rinnankorkeuden läpimittaan perustuvan taulukon edut ovat selvimmät harsintarakenteisessa metsässä, jossa keskipuun muoto ei muutu paljon perättäisten mittausten välillä. Näissä inventoinneissa puusto arvioidaan yhtenä kokonaisuutena ja keskipuiden mahdollista muuttumista seurataan kuutioimalla hakatut puut tarkalla menetelmällä. Suomessa ja yleensäkin Pohjoismaissa ei tällaista käytäntöä ole pidetty mahdollisena, koska puusto koostuu likimain tasaikäisistä metsiköistä, ja koska ikärakenne muuttuu koko ajan, niin että läpimittaluokkien keskipuut muuttuvat merkittävästi inventointien välillä. Meillä on käsityksiin vaikuttanut varmaan myös se, että koealat on usein haluttu kuutioida yksitellen mahdollisimman tarkasti, jolloin pelkkä läpimitta kuution tunnuksena ei riitä.

Maassamme suoritetaan myös paljon sellaisia inventointeja, joissa on tarkoituksena selvittää vain metsän keskikuutio eikä koealoja edes kuutioida yksitellen. Tällöin sekä kenttätyö että laskenta helpottuisivat suuresti ja kustannukset pienenisivät, jos kuutioiminen voitaisiin suorittaa yhden tunnuksen perusteella. Paikallinen, alueen puustoa hyvin edustava rinnankorkeuden läpimittaan perustuva kuutioimistaulukko tekisi koepuiden mittaamisen tarpeettomaksi ja sitä käytettäessä voitaisiin laskenta helposti koneellistaa. Varsinkin olosuhteissa, joissa koealojen pieni lukumäärä on arvion tarkkuuden minimitekijä, voitaisiin paikallista kuutioimistaulukkoa käyttämällä lisätä koealoja suurentamatta kokonaiskustannuksia. Mittauksiin perustuvat inventoinnit tulisivat tällä tavalla paljon yleisemmiksi esim. maatilametsien taloussuunnitelmia varten.

331. Taulukon laadinta

Kun metsäalueen puustolle laaditaan rinnankorkeuden läpimittaan perustuva kuutioimistaulukko, on koepuut valittava objektiivisesti, niin että ne edustavat mahdollisimman hyvin alueen puustoa. Tässä käytettävissä oleva aineisto ei täysin täytä objektiivisen edustavuuden vaatimusta, sillä koepuut mitattiin inventoinnissa, jossa koealat pyrittiin kuutioimaan yksitellen mahdollisimman tarkasti, ja jossa koepuita otettiin harvoista ja pienikuutioisista koealametsiköistä suhteellisesti enemmän kuin tiheistä ja suurikuutioisista metsiköistä.

On todennäköistä, että läpimittaluokkien keskipuiden kuutio on riippuvainen metsikön tiheydestä ja muista taksatorisista tunnuksista, ja että tämän vuoksi aineiston koepuiden perusteella lasketut keskikuutiot ovat systemaattisesti virheelliset. Virheen suuruutta voidaan kuitenkin tutkia vertaamalla yksittäin kuutioitujen koealojen kuutioiden summaa keskikuutioiden perusteella laskettujen koealakuutioiden summaan. Samalla tarjoutuu myös tilaisuus tutkia, miten rinnankorkeuden läpimittaan perustuvan kuutioimistaulukon systemaattinen virhe voitaisiin korjata. Mahdollisuutta korjaamiseen tarvitaan tapauksissa, joissa paikallista taulukkoa käytetään kuutioitaessa puustoa, joka poikkeaa rakenteeltaan taulukon koepuuaineiston puustosta.

Tavallisin tapa laatia kuutioimistaulukko on tasottaa koepuiden perusteella lasketut läpimittaluokkien keskikuutiot joko graafisesti tai analyttisesti. Koekiltaessa tätä menetelmää siinä ilmeni kuitenkin eräs merkittävä heikkous. Tasotuskäyrän selvittäminen paksuimpien puiden kohdalla, missä havainnot on vähän ja luokittaisten keskiarvojen vaihtelu suuri, on aina enemmän tai vähemmän tulkinnanvaraista. Eri tasotuksissa saadut yksikkökuutiot paksuimpien puiden läpimittaluokissa johtivat niin suuriin eroihin, että ne olisivat haitanneet edellä mainitun, mahdollisen systemaattisen virheen tutkimista. Kun koepuiden perusteella laaditaan taulukko, jolla on tarkoitus kuutioida se puusto, josta koepuut on otettu, on oikein tapa käyttää läpimittaluokkien tasottamattomia keskiarvoja. Tällöin ei tasotus tuo enää arvioon lisävirhettä.

On myös syytä huomauttaa, että pituus- ja kapenemislukujen aritmeettiset keskiarvot tai niiden graafinen tasottaminen ei tarkasti ottaen johda teoreettisesti oikeaan tulokseen (NISULA 1952). Tämän voi todeta hakemalla kahdelle samaläpimittaiselle mutta pituudeltaan ja kapenemislukultaan erilaiselle puulle ILVESSALON taulukoista yksikkökuutio sekä laskemalla yksikkökuutioiden keskiarvo. Kun tätä verrataan samojen puiden keskikuutioon, joka saadaan laskeamalla pituuksien sekä kapenemislukujen perusteella aritmeettinen keskipituus ja keskikapeneminen, eivät tulokset ole samat. Pituuden ja kapenemislukuan muuttuminen eivät ole suoraan verrannolliset kuutiomäärän muuttumiseen. Ero on tosin niin pieni, että sillä ei ole käytännön inventoinneissa merkitystä, mutta oikea tapa selvittää läpimittaluokkien keskipuun kuutio on laskea se yksittäin kuutioitujen koepuiden aritmeettisenä keskiarvona.

Taulukossa 8 ovat läpimittaluokittain otettujen koepuiden kuutioiden aritmeettiset keskiarvot. Niillä saadaan oikein arvio luetun puuston kuutiomäärälle.

Taulukko 8. Koepuiden kuutioiden aritmeettisina keskiarvoina lasketut läpimittaluokkien keskikuutiot.

Table 8. Arithmetic mean volumes of the sample trees by diameter classes.

d, cm	m ³	d, cm	m ³	d, cm	m ³	d, cm	m ³
3—5	.0038	7	.013	9	.025	11	.044
13	.065	15	.094	17	.129	19	.166
21	.216	23	.266	25	.324	27	.386
29	.457	31	.532	33	.624	35	.720
37	.823	39	.882	41	1.011	43	1.103
45	1.155	47	1.190	49	1.312	51	1.482
53	1.470	55	2.350	57	3.100	59	3.060

Jos taas halutaan valmistaa rinnankorkeuden läpimittaan perustuva paikallinen kuutioimistaulukko, jota on tarkoitus käyttää kuutioitaessa myös muita kuin sitä puustoa, josta koepuut on otettu, ei edellä esitetty yksikkökuutioiden laskemistapa ole oikea. Olisi virhe käyttää jonkun runkolukusarjan paksuimpien puiden sattumanvaraisesti vaihtelevia keskikuutioita toista puustoa kuutioitaessa. Taulukossa 9 on esitetty yksikkökuutiot, jotka on tasotettu graafisesti, ja joista on korjattu koepuuaineiston systemaattinen virhe (lähemmin sivulla 40). Taulukkoa voidaan käyttää Inarin talousmetsien alueella suoritetuissa inventoinneissa silloin, kun ei ole mahdollista mitata koepuita, ja kun voidaan tyytyä näin saatavaan tarkkuuteen.

Taulukko 9. Paikallinen kuutioimistaulukko Inarin kasvullisten metsämaiden männyille.

Table 9. Local volume table for the pine on productive forest land in Inari.

d, cm	m ³	d, cm	m ³	d, cm	m ³	d, cm	m ³
3—5	.0039	7	.013	9	.026	11	.043
13	.066	15	.096	17	.132	19	.170
21	.220	23	.272	25	.331	27	.394
29	.466	31	.544	33	.633	35	.725
37	.820	39	.898	41	1.013	43	1.084
45	1.174	47	1.267	49	1.368	51	1.476
53	1.700	55	2.150	57	2.730	59	3.250

332. Rinnankorkeuden läpimittaan perustuvalla taulukolla laskettujen koealakuutioiden vaihtelu

Taulukon 8 yksikkökuutioita käyttäen kuutioitiin aineiston kaikki kasvullisen metsämaan koealat. Näin saadut keskiarvot ja vaihtelun tunnuksat kehitys-

luokittain ovat taulukossa 10, jossa niitä on verrattu lähinnä oikeina pidettäviin taulukko 3:n (s. 28) arvoihin. Vertailussa kiinnittää huomiota ennen muuta se, että koealakuutioiden vaihtelu on supistunut tuntuvasti. Variaatiokerroin on pienentynyt koko aineistossa noin 14 % ja väljennysmetsiköissä 19 %.

Toinen merkittävä havainto on se, että taulukon 8 perusteella saatu kokonaiskuutio on 2.1 % liian pieni. Tähän systemaattiseen virheeseen on jo aiemmin viitattu, ja se johtuu siitä, että aineistossa on harvojen ja pienikuutioiden metsiköiden lyhyitä ja huonomuotoisia puita suhteellisesti liian paljon. Tämän tapainen systemaattinen virhe voidaan välttää vain ottamalla koepuut objektiivisesti.

Taulukko. 10. Koealojen kuutiomäärien vaihtelu, kun kuutioiminen on suoritettu rinnankorkeuden läpimitan funktiona.

Table 10. Variability of the sample plot volumes when the unit volumes are functions of DBH.

Kehitysluokka Development stage	n	\bar{x}	s	c.v.	$s_{\bar{x}}$	$100 \frac{s_{\bar{x}}}{\bar{x}}$	$\frac{n \text{ kun } n}{n \text{ when } n} = \frac{3/100 \cdot \bar{x}}{3/100 \cdot \bar{x}}$
1	18	37.2	19.3	0.52	4.6	12.4	303
2	41	72.6	27.8	0.38	4.3	5.9	164
3	67	76.4	29.8	0.39	3.6	4.7	169
4	130	67.1	24.2	0.36	2.1	3.1	144
5—7	33	37.5	17.6	0.47	3.1	8.3	243
Yht. — Total	289	64.8	28.3	0.44	1.7	2.6	213
Suhteellinen arvo kun oikea on 100 Proportional value when the correct value is 100							
1		106.0	107.8	102.0	107.0	101.6	104.5
2		97.5	85.3	86.4	84.3	86.8	78.1
3		93.2	76.0	81.2	75.0	79.7	66.5
4		99.6	84.6	85.7	84.0	83.8	71.6
5—7		102.7	98.3	95.9	100.0	97.6	91.7
Yht. — Total		97.9	83.2	86.3	85.0	86.7	73.7

Vaihtelun tunnuksen pieneminen on merkityksellistä siksi, että jos koealat kuutioidaan inventoinnin tuloksia laskettaessa läpimitaan perustuvilla taulukoilla, antaa koealakuutioista laskettu keskivirhe liian edullisen kuvan arvion tarkkuudesta. Kun uutta inventointia suunniteltaessa lasketaan hajonnan perusteella tietyn tarkkuuden saavuttamiseksi tarpeellinen koealojen lukumäärä, tulee se selvästi pienemmäksi, kuin jos laskelmassa käytettäisiin todellisten koealakuutioiden vaihtelua. Niinpä pienentyneen hajonnan perusteella riittäisi 3 %:n suuruisen keskivirheen saavuttamiseksi 213 koealaa, mikä on 74 % siitä koealojen lukumäärästä, joka on todellisuudessa tarpeen.

333. Läpimitaluokkien keskipuun muuttumiseen vaikuttavat tekijät

Rinnankorkeuden läpimitaan perustuvaa kuutioimistaulukkoa käytetään joko helpottamaan yhden inventoinnin kuutioimistoimitusta, jolloin koepuut mitataan asianomaisen inventoinnin yhteydessä, tai puustoa kuutioitaessa silloin, kun ei ole mahdollisuutta mitata koepuita. Ensiksi mainitussa käyttömuodossa kokonaiskuution arvioon ei sisälly muuta virhettä kuin tilastollinen virhe, jos koepuut on valittu objektiivisesti. Sensijaan kokonaispuuston osille saadaan virheellinen kuutio, jos ne poikkeavat rakenteeltaan kokonaispuustosta. Jälkimmäisessä tapauksessa taas joudutaan harkitsemaan, miten taulukko sopii asianomaiselle puustolle. Mahdollisten virheiden arvioiminen edellyttää tunnetuksi ne tekijät, joista läpimitaluokkien keskipuiden kuutio on riippuvainen. Tällaisina tekijöinä tarkastellaan seuraavassa metsätyyppiä eli kasvupaikan boniteettia, metsikön kehitysluokkaa, ikää, tiheyttä ja kuutiota.

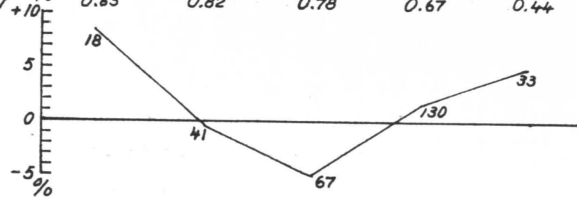
Tarkastelua varten on koealat kuutioitu taulukolla 8 ja näin saaduista kuutioista on korjattu 2.1 %:n suuruinen keskimääräinen systemaattinen virhe. Kukin koealakuutio on muunnettu suhteelliseksi arvoksi vertaamalla sitä oikeaan kuutioon, joka saa vertailussa arvon 100. Koealat on ryhmitetty edellä lueteltujen tunnusten mukaan alaluokkiin, joiden suhteelliset keskikuutiot on esitetty piirroksissa 9—13. Niissä edustaa 0-akseli oikeata kuutiota. Murtoviivat osoittavat, minkä suuntainen ja kuinka monen sadanneksen suuruinen virhe syntyy, kun asianomaisen tunnuksen mukaan samaan ryhmään kuuluvat koealat kuutioidaan taulukolla 8.

Ylin tunnus piirroksissa on luokittelun peruste. Sen alla on muutamien muiden tunnusten keskiarvo asianomaisissa luokissa. Keskiboniteetti on laskettu luvuista, jotka osoittavat keskimääräistä kasvua eri metsätyypeillä (Tapion taskukirja, 14 painos, s. 212). Murtoviivojen vieressä olevat luvut tarkoittavat luokkiin kuuluvien koealojen lukumäärää.

Tiheyden ja kuution vaikutuksen ohella on boniteetin vaikutus läpimitaluokkien keskipuun kuutioon selvin ja voimakkain. Sama voidaan todeta myös CAJANUKSEN taulukoista (ILVESSALO 1923). Metsätyyppin huonotessa keskipuun kuutio pienenee, so. pituus lyhenee ja muoto heikkenee. Metsätyyppin vaikutusta osoittavan murtoviivan kulkuun aiheuttavat poikkeusta pääsuunnasta vain tuoreiden kankaiden ja rehevempien soiden sekä paksusammalmyyppin metsiköt, ja nämäkin poikkeukset johtuvat siitä, että asianomaisiin luokkiin kuuluvat vähälukuiset metsiköt ovat, kuten tiheyden tunnus osoittaa, vajaapuustoisia.

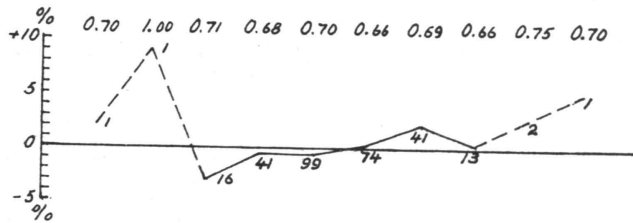
Inarin talousmetsien kasvullisten metsämaiden keskiboniteetti on hivenen heikompi EMT:tä. Kaikkia metsiköitä edustavaan koepuuaineistoon perustuva rinnankorkeusläpimitan mukainen kuutioimistaulukko antaa tämän tyyppin metsiköille myös likimain oikean kuution. Vähäinen ero, vajaan puolen sadanneksen yliarviointi, on samansuuntainen, kuin mitä se keskiboniteetin perusteella tulisi.

<i>Kehitysluokka</i> <i>Development stage</i>	1.	2.	3.	4.	5-7.
<i>Keskiboniteetti</i> <i>Average site</i>	2.2	2.6	3.0	2.6	2.6
<i>Ikä - Age</i>	183	161	190	222	179
<i>Tiheys - Density</i>	0.63	0.82	0.78	0.67	0.44



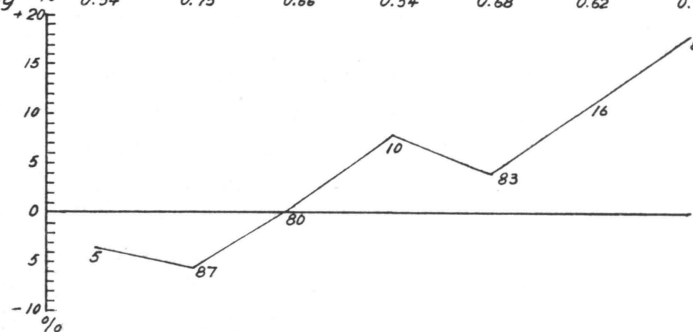
Piirros 9. — Fig. 9.

<i>Ikäluokka</i> <i>Age class</i>	20	60	100	140	180	220	260	300	340	380
<i>Keskiboniteetti</i> <i>Average site</i>	1.6	1.6	2.6	3.0	2.8	2.6	2.4	2.5	2.2	4.0
<i>Tiheys - Density</i>	0.70	1.00	0.71	0.68	0.70	0.66	0.69	0.66	0.75	0.70



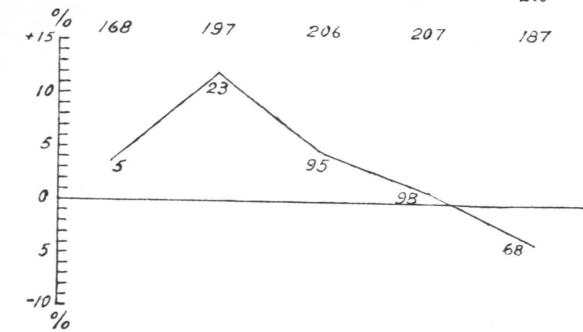
Piirros 10. — Fig. 10.

<i>Boniteetti - Site</i>	Lh, MT, Lhk	EVT	EMT	HMT	ErCLT	LT, CLT	KgK, KgR
<i>Ikä - Age</i>	156	190	201	192	200	225	195
<i>Tiheys - Density</i>	0.54	0.75	0.66	0.54	0.68	0.62	0.77



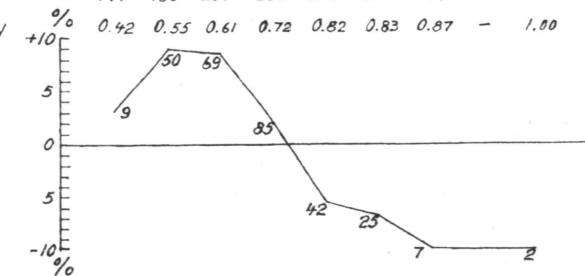
Piirros 11. — Fig. 11.

<i>Tiheys - Density</i>	0.1-0.2	0.3-0.4	0.5-0.6	0.7-0.8	0.9-1.0
<i>Keskiboniteetti</i> <i>Average site</i>	2.4	2.6	2.4	2.7	2.9
<i>Ikä - Age</i>	168	197	206	207	187



Piirros 12. — Fig. 12.

<i>Kuutio - Volume</i>	10	30	50	70	90	110	130	150	170
<i>Keskiboniteetti</i> <i>Average site</i>	2.2	2.4	2.4	2.6	3.0	3.2	3.8	-	4.0
<i>Ikä - Age</i>	144	186	203	203	204	215	244	-	230
<i>Tiheys - Density</i>	0.42	0.55	0.61	0.72	0.82	0.83	0.87	-	1.00



Piirros 13. — Fig. 13.

Piirroksset 9—13. Rinnankorkeuden läpimittaan perustuvan keskimääräisen kuutioimistaulukon virhe kehitysluokan (9), ikäluokan (10), boniteetin (11), tiheyden (12) ja kuutiomäärän (13) funktiona. Piirroksissa on myös muiden tunnusten luokkakeskiarvoja ja koalojen lukumäärä kussakin luokassa.

Figures 9—13. Error of the average volume table based on diameter at breast height as a function of development stage (9), age class (10), site (11), stand density (12) and stand volume (13). In the figures are also presented some other means and number of plots by classes.

ollakin. EVT:n metsiköille taulukko antaa 5—6 % liian pienen kuution, ErCIT:n metsiköille noin 4 % ja kuivimpien kankaiden metsiköille noin 11 % liian suuren kuution. Kasvullisilla soilla yliarviointi on aina 18 %. Esitetyn perusteella voidaan todeta, että määritetyt metsätyypit ovat myös selviä boniteettiluokkia.

Tiheyden vaikutusta tarkasteltaessa on otettava huomioon, että tunnus on arvioitu silmävaraisesti, ja että se tarkoittaa inventoinnin ajankohtana vallinnutta biologista tiheyttä. Koska hakkuu, varsinkin jos se on voimakas ja uudistamiseen tähtäävä, pienentää välittömästi tiheyslukua, olisi tässä suoritettavaa selvittelyä varten pitänyt arvioida, mikä on metsiköiden tiheys ollut ennen hakkuuta. Koska sitä ei ole tehty, aiheuttavat harvimmat metsiköt poikkeuksen kuvaajan kulkuun, mikä johtuu siitä, että niissä on pääasiassa vartevia ja hyvämuotoisia siemenpuita.

Inventoinnin aikana oli hakattujen metsiköiden määrä Inarin alueella kuitenkin pieni eikä koalametsiköissä ollut yhtään sellaista, jossa olisi suoritettu harvennushakkuu. Harvimpien metsiköiden luokkaa lukuunottamatta tiheyden tunnus osoittaa sitä kasvutilan suhteellista väljyyttä, jossa nykypuusto on kasvanut muutaman vuosikymmenen ajan. Kasvutilan vaikutus keskipuun kuutioon onkin tuntuva. Samaläpimittaisten puiden kuutio on täysitiheissä metsiköissä aina 15 % suurempi kuin metsiköissä, joiden tiheysluokka on 0.3—0.4. Puiden kasvattaminen harvoissa metsiköissä ei siis vain pienennä kokonaiskasvua vaan siitä on myös seurauksena, että samaläpimittaisissa rungoissa käyttöpuun, ennenmuuta sahapuun osuus pienenee.

Rinnankorkeuden läpimitan mukainen kuutioimistaulukko antaa lähinnä tiheyttä 0.8 oleville metsiköille oikean kuution, tiheysluokassa 0.3—0.4 yliarviointi on 12 % ja tiheysluokassa 0.5—0.6 se on 4—5 %, kun taas tiheysluokassa 0.9—1.0 saadaan 3—4 %:n aliarviointi.

Keskipuun kuution riippuvaisuus metsikön kuutiosta on vielä selvempi kuin tiheydestä, mikä johtuu siitä, että metsikön kuutio on suorassa suhteessa tiheyteen ja paranevaan boniteettiin. Pienikuutioisimmissa metsiköissä (lukuunottamatta siemenpuustoja) taulukko yliarvioi keskipuun kuutiota 9 % ja suurikuutioisimmissa aliarviointi on 10 %. Lähinnä oikein tulos saadaan metsiköille, joiden kuorellinen kuution on noin 75 m³/ha.

Metsikön iän vaikutus keskipuun kuutioon on vähäinen. Tosin keskipuun kuutio on hieman sitä pienempi, mitä vanhemmasta metsiköstä on kysymys, mutta primäärinen tekijä tähänkin on ilmeisesti tiheyden aleneminen iän lisäntyessä. Ikärakenteella ei näytä Inarin olosuhteissa olevan suurta merkitystä harkittaessa rinnankorkeuden läpimitaan perustuvan kuutioimistaulukon käyttämistä. Tämä voi johtua myös siitä, että vaikka nykypuustossa on erilaisia ikäluokkia, ovat metsiköt pääasiassa yli-ikäisiä. Aineisto ei anna mahdollisuutta päätellä, minkälainen keskipuun kuutio on varsinaisissa taimistoissa ja nuorissa metsiköissä.

Kehitysluokkien osalta taas keskipuun kuutio on sitä suurempi, mitä ti-

heämpää puustoa kehitysluokkaan kuuluu. Väljennysmetsiköiden puiden hyvään muotoon vaikuttaa myös niiden keskimääräistä parempi boniteetti.

Tarkastelun perusteella näyttää ilmeiseltä, että puiden muotoon vaikuttavat primääriset tekijät ovat kasvupaikan boniteetti ja puuston tiheys. Mitä parempi on boniteetti ja mitä tiheämpi puusto, sitä parempi on puiden muoto.

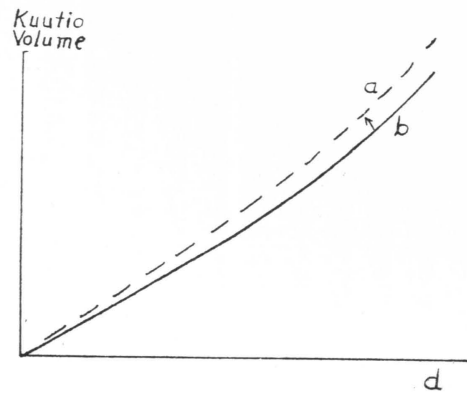
Mikäli tämän tutkimuksen aineiston mukaan laadittua paikallista kuutioimistaulukkoa (taulukko 9) käytetään puuston inventoinnissa Inarin alueella, voidaan taulukossa 1 sivulla 11 esitettyjen tunnusten perusteella arvioida, miten inventoinnin kohde poikkeaa koepuuaineiston puuston tunnuksista. Tämän jälkeen on piirrosten 9—13 perusteella pääteltävissä, miten käyttökelpoinen taulukko 9 on ja kuinka suuria virheitä on odotettavissa. Tärkeimmät harkintaan vaikuttavat tunnuksien arvot inventoitavan alueen keskinobiteetti ja sen puuston tiheys.

Yksityistä metsikköä taulukolla 9 kuutioitaessa on otettava huomioon, että ääritapauksissa virhe voi olla jopa yli 20 %. Yksityisen metsikönkin kohdalla syntyvän virheen suuruutta voidaan arvioida piirrosten 9—13 perusteella, mutta näinkin tarkistettuna voi virhe olla noin 10 %, poikkeuksellisissa tapauksissa suurempikin. Taulukon käyttäminen tulee kysymykseen lähinnä silloin, kun halutaan nopealla mittauksella saada summittainen käsitys metsikön kuutiosta esim. silmävaraisen arvioinnin tueksi.

334. Paikallisen kuutioimistaulukon käyttämisestä aiheutuvan virheen poistaminen

Koska rinnankorkeuden läpimitaan perustuva kuutioimistaulukko aliarvioi kuutiota niissä metsiköissä, joissa puiden muoto on keskimääräistä parempi, ja vastaavasti yliarvioi kuutiota niissä metsiköissä, joissa puiden muoto on keskimääräistä huonompi, lähestyvät niillä lasketut inventointikoealojen kuutiot keskiarvoaan. Tämä ilmenee vaihtelun tunnuksen pienemisenä, josta on taas seurauksena, että keskivirhe saadaan todellista keskivirhettä pienempänä. Toinen merkittävän virheen mahdollisuus johtuu siitä, että arvioinnin kohteena olevassa puustossa voi läpimittaluokkien keskipuiden kuutio olla systemaattisesti toinen kuin taulukon koepuuaineistossa. Mikäli paikallisia kuutioimistaulukoita halutaan käyttää, on pyrittävä selvittämään menetelmiä niiden käyttämisestä aiheutuvien virheiden toteutumisiksi ja poistamiseksi.

Keskikuution systemaattinen virhe voidaan ilmeisestikin todeta suhteellisen pienellä koepuiden määrällä. Jos yhtä inventointia varten laadittavan taulukon valmistamiseen tarvitaan noin 500 koepuuta, riittänee paikallisen kuutioimistaulukon tarkistamiseen 50—100 objektiivisesti valittua koepuuta. Ne kuutioidaan sekä paikallisella taulukolla että jollain tarkalla menetelmällä. Saatujen kuutioiden suhteella korjataan paikallisella taulukolla laskettu luetun puuston kuutio.



Piirros 14. Käyrä a osoittaa puiden todellista kuutiota läpimitan funktiona ja käyrä b paikallisen taulukon yksikkökuutiota sekä nuoli halutun korjauksen suuntaa.

Fig. 14. Curve a shows the actual tree volume as a function of diameter, curve b the unit volumes of the local table and the arrow the direction of the desirable correction.

Yksityisten koealakuutioiden korjaaminen tapahtuisi taas nopeimmin, jos yhden tai muutaman mittauksen perusteella voitaisiin laskea korjauskerroin taulukolla saadun kuution muuntamista varten. Erilaisten vaihtoehtojen tarkinta (vert. esim. HUMMEL 1955) on tässä johtanut kokeilemaan menetelmää, jota valaisee piirros 14. Siinä on kaksi käyrää, joista yhtenäisellä viivalla piirretty kuvaa paikallisen kuutioimistaulukon yksikkökuutioita rinnantasalta mitatun läpimitan funktiona ja katkoviivalla piirretty metsikön puiden todellisia kuutioita. Koska jälkimmäinen on edellisen yläpuolella, on läpimittaluokkien keskipuiden kuutio koealalla suurempi kuin taulukkoa laadittaessa käytetyissä koepuissa.

Yksityisten metsiköiden puusto muodostaa useimmiten oman kokonaisuutensa, joten voidaan olettaa, että käyrien välinen ero on eri läpimittaluokkien kohdalla suhteellisesti likimain yhtä suuri. Mikäli olettaus pitää paikkansa, saadaan taulukoilla laskettu kuutio korjatuksi, jos käyrien ero tunnetaan minkä tahansa läpimittaluokan kohdalla.

Esitetyn mukaisesti laskettiin jokaiselle aineiston koealametsikölle korjauskerroin siten, että runkolukusarjalta haettiin mediaanipuun läpimittaluokka, jota suuremmista puista kolmen lähimmän kuutio määritettiin taulukolla 8 (s. 39) ja ILVESSALON taulukoilla. Jälkimmäisillä taulukoilla saatu kuutio jaettiin ensin mainitulla taulukolla saadulla kuutiolla, ja tällä korjaustekijällä kerrottiin taulukolla 8 saatu koealan kuutio. Menetelmän perustana oleva olettaus sisältyi verrantoon:

$$\frac{\text{koeuiden todellinen kuutio}}{\text{koeuiden taulukkokuutio}} = \frac{\text{koealan todellinen kuutio}}{\text{koealan taulukkokuutio}}$$

Korjaustekijän laskemiseksi käytetyn kolmen puun paikka runkolukusarjalla perustuu aineistosta saatuun havaintoon, että tähän runkolukusarjan osaan kuuluu useimmiten suhteellisesti suurin osa koealan kuutiosta. Koeputa on käytetty useampi kuin yksi senvuoksi, että kummassakin kuutioimistavassa yksikkökuutiot muuttuvat luokkavälin suuruisin hyppäyksin, mikä aiheuttaa korjauskertoimen suuruuteen sattumanvaraista vaihtelua. Tämä vaihtelu on sitä pienempi, mitä useampaan puuhun kerroin perustuu.

Korjattujen koealakuutioiden keskiarvot ja vaihtelun tunnuksot ovat taulukossa 11. Niistä voidaan todeta, että korjaus on vaikuttanut oletetulla tavalla.

Taulukko 11. Korjatut koealakuutiot.

Table 11. Corrected sample plot volumes.

Kehitysluokka Development stage	n	\bar{x}	s	$s\bar{x}$
1	18	35.6	17.4	4.1
2	41	73.3	32.8	5.1
3	67	82.8	40.4	4.9
4	130	68.1	29.7	2.6
5—7	33	36.7	18.1	3.2
Yht. — Total	289	66.6	34.7	2.0
Suhteellinen arvo kun oikea on 100 Proportional value when the correct value is 100				
1		101.4	97.2	95.3
2		98.4	100.6	100.0
3		101.0	103.1	102.1
4		101.0	103.8	104.0
5—7		100.5	101.1	103.2
Yht. — Total		100.6	102.1	100.0

Sekä keskiarvot että vaihtelun tunnuksot lähestyvät oikeita arvoja, kuitenkin siten, että vaihtelun tunnuksot ovat oikeita suuremmat. Vaihtelun tunnuksen suureneminen johtuu osittain siitä, että koeuiden kuutiot muuttuvat hyppäyksittäin, ja osittain metsiköiden runkolukusarjojen epätasaisuudesta. Inarin männiköissä metsiköiden rakenteessa on siksi paljon epäsäännöllisyyttä, että muutaman koepuun perusteella laskettu korjauskerroin ei osoita täsmälleen kaikkien puiden kuutioiden suhdetta. Selvimmin tämä tulee esille eri-ikäisissä tai ylispuita sisältävissä metsiköissä, joissa käytetyllä menetelmällä ei saa kovinkaan tarkkaa tulosta. Rakenteeltaan epäsäännölliset ja useampaa kuin yhtä latvusjaksoa sisältävät metsiköt aiheuttavat vaikeuksia myös silloin, kun kuutioiminen edellyttää pituus- ja kapenemiskäyrän piirtämistä. Aivan samoin kuin eri latvusjaksoille tarvitaan omat käyrät, samoin voidaan korjauskerroinkin selvittää kullekin jaksolle erikseen.

Käytetty menetelmä näyttäisi tarjoavan mahdollisuuden arvioida ainakin likimääräisesti rinnankorkeuden läpimitaan perustuvan taulukon käyttämisestä aiheutuvaa virhettä. Kuitenkin kun on kysymys inventoinnin kuutioimistoituksesta, vaatii uuden taulukon laatiminen suhteellisesti siksi vähän työtä, että korjauskertoimen selvittäminen koelaittain ei vastaa tarkoitustaan. Koelakuutioiden todellista vaihtelua tutkittaessa sitä voidaan käyttää, mutta vaihtelun korjaaminenkin on useimmissa käytännön tehtävissä helpointa suorittaa kokemuseräisesti. Kun taas paikallista kuutioimistaulukkoa käytetään yksityistä metsikköä arviotaessa, ja varsinkin tapauksissa, joissa kuutio halutaan laskea metsässä välittömästi mittauksen jälkeen, paranee arvion tarkkuus, jos korjaustekijä selvitetään muutamalla pituus- ja kapenemishavainnolla.

34. Huonokasvuisten metsämaan koelat ja niiden perusteella laadittu paikallinen kuutioimistaulukko

Aineiston koelaita on 29 kpl mitattu huonokasvuisella metsämaalla (taulukko 1, s. 11). Koepuiden perusteella laskettiin läpimittaluokkien keskipuiden kuutiot. Niiden mukaiset koelakuutiot korjattiin samalla tavalla kuin kasvullisen metsämaan koelaitojen kuutiot (vert. s. 46). Näin saatuja keskikuutioita ja vastaavia keskivirheitä verrataan oikeisiin tunnuksiin taulukossa 12. Vertailun perusteella on tehtävissä samoja päätelmiä kuin kasvullisen metsämaan koelaitojen perusteella. Korjatuilla kuutioilla saatu keskivirhe on suurentunut suhteellisesti enemmän kuin kasvullisella metsämaalla, mikä johtuu lähinnä koelaitojen pienestä lukumäärästä ja tilastollisen virheen suuruudesta.

Taulukko 12. Rinnankorkeuden läpimitaan perustuva keskikuutio ja korjattu keskikuutio verrattuna oikeaan keskikuutioon huonokasvuisten metsämaan koelaitoilla.

Table 12. Mean volume based on the D.B.H. and corrected mean volume compared with the accurate estimate.

	n	\bar{x}	suhteellinen proportional $\frac{\bar{x}}{\bar{x}}$	$s_{\bar{x}}$
Oikea arvio — <i>Most accurate estimate</i>	29	16.3	100.0	2.22
Korjaamaton arvio — <i>Uncorrected estimate</i>	29	15.7	96.3	2.12
Korjattu arvio — <i>Corrected estimate</i>	29	16.2	99.4	2.30

Taulukossa 13 on esitetty paikallinen kuutioimistaulukko Inarin huonokasvuisten maan männylle. Se on valmistettu samalla tavalla kuin vastaava taulukko kasvullisen metsämaan männylle (s. 39). Koska koepuita on vain 174 kpl, ei taulukko ole kovin luotettava. Toisaalta huonokasvuisten maiden metsiköiden taloudellinen merkitys on varsin vähäinen.

Taulukko 13. Paikallinen kuutioimistaulukko Inarin huonokasvuisten metsämaiden männylle.

Table 13. Local volume table for pine on poorly productive forest land in Inari.

d, cm	m ³	d, cm	m ³	d, cm	m ³	d, cm	m ³
3—5	.0032	7	.011	9	.021	11	.036
13	.054	15	.076	17	.102	19	.140
21	.182	23	.228	25	.275	27	.324
29	.372	31	.420	33	.470	35	.540
37	.640						

35. Päätelmät

Aineistossa on 289 kpl 0.10 ha:n suuruista koelaita, joiden keskuutio on 66.2 m³/ha, hajonta 34.0 m³/ha, variaatiokerroin 0.51 ja keskivirhe 2.0 m³/ha eli 3 % keskiarvosta. Mikäli metsäalue on niin suuri, että otannan suhde n/N on pienempi kuin 0.05, saadaan kaksinkertainen keskivirhe 6 %:n suuriseksi verrattuna keskikuutioon noin 290 koelaitalla. Vastaavien perusteiden saadaan 410 koelaitalla 5 %:n ja 2 640 koelaitalla 2 %:n tarkkuus.

Kehitys- ja ikäluokittain ryhmitettyjen koelakuutioiden vaihtelu on tärkeimmissä luokissa hieman pienempi kuin kaikkien koelakuutioiden vaihtelu. Pienin variaatiokerroin, 0.42, on uudistettavissa metsiköissä. Kehitysluokissa vaihtelu on hieman pienempi kuin ikäluokissa. Variaatiokerroin pienenee luokituksen ansiosta kuitenkin niin vähän, että sellaisenaan ryhmittely tuskin kelpaa stratifiointin perustaksi. Kehitysluokat näyttävät tarjoavan tässä suhteessa paremman lähtökohdan kuin ikäluokat.

Koepuiden kuutioiden vaihtelu 2 cm:n läpimittaluokkia käytettäessä on runkolukusarjan tärkeimmillä alueilla likimain muuttumaton. Sen suuruutta osoittava variaatiokerroin on 0.18. Suurimpien puiden kuutiot näyttävät vaihtelevan enemmän. On kuitenkin huomattava, että koepuiden kuutioiminen on suoritettu taulukoilla, joiden yksikkökuutiot ovat jo tasotettuja arvoja, ja että aineistoon ei ilmeisestikään sisälly kaikkein poikkeuksellisimpia runkoja niin paljon kuin niitä on todellisuudessa. NÄSLUNDIN (1944) tutkimuksen perusteella on pääteltävissä, että koepuiden vaihtelu Inarin männiköissä on ehkä hieman suurempi kuin eteläisemmissä puustoissa.

Jos aineiston tunnuksia vastaavassa metsässä otetaan 250—300 inventointi-koelaita, saadaan koelakuutioiden vaihtelun perusteella arvion keskivirhe noin 3 %:n suuriseksi. Sopivaksi koepuiden lukumääräksi näyttäisi sopivan se, jolla luettu puusto tulee kuutioiduksi 1 %:n keskivirheen tarkkuudella. Tähän päästään noin 400 koepuulla, jos niiden jakaantuminen läpimittaluokkiin on optimaalinen. Neumanin kiintiöinnin kaavalla saatu koepuiden jakaantumisen ohje on seuraavassa:

d-luokka, cm koepuita kutakin luokkaa kohden	13 ja alle	15—17	19—27	29—35	37 ja yli
	10	20	30	20	kaikki luetut

Luokkaa kohden tulevien koepuiden määrät ovat pienemmät kuin sivulla 35 esitetyt. On kuitenkin otettava huomioon, että kun kaikki 37 cm:n luokkaan ja sitä suuremmat puut otetaan koepuiksi, tulee näiden läpimittaluokkien kuutio arvioiduksi ilman tilastollista virhettä ja muista läpimittaluokista voidaan vastaavasti ottaa hieman vähemmän koepuita.

Tuhannella koepuulla saataisiin luetun puuston kuutio noin 0.5 %:n keski-
virheen tarkkuudella. Kun koealoja otetaan enemmän kuin 300, voidaan suurentaa koepuiden määrää. Otettaessa koealoja vähemmän kuin 300 voidaan vastaavasti koepuiden määrää vähentää. Vähimmäismääränä voitaneen pitää noin 200 kpl:tta, kun puusto muodostuu pääasiassa yhdestä puulajista. Sekametsissä tarvitaan luonnollisesti enemmän koepuita.

Oikein tapa laatia rinnankorkeuden läpimittaan perustuva kuutioimistaulukko inventoitavan puuston kuutioimiseksi on laskea läpimittaluokkien yksikkökuutio koepuiden aritmeettisena keskiarvona ja käyttää yksikkökuutioita tasotamattomina. Näin tehden vältytään tasotukseen mahdollisesti sisällyvistä systemaattisista virheistä. Jos taas tarkoituksena on valmistaa koepuiden perusteella paikallinen kuutioimistaulukko laajempaa käyttöä varten, tasotetaan kuutiot rinnantasalta mitatun läpimitan funktiona.

Rinnankorkeuden läpimittaan perustuvan taulukon yksikkökuutiot vastaavat sitä valmistettaessa käytetyn koepuuaineiston keskipuiden pituutta ja muotoa. Koepuuaineistoa vartevammassa ja hyvämuotoisemmissa puustoissa niillä saadaan todellista pienempi kuutio. Jos taas arvioidavat puut ovat lyhyempiä ja muodoltaan huonompia, saadaan todellista suurempi kuutio. Metsiköittäiset koelakuutiot muuttuvat vastaavasti, joten ne lähestyvät keskiarvoaan ja niiden perusteella laskettu vaihtelun tunnus on pienempi kuin todellisten koelakuutioiden vaihtelun tunnus. Niinpä kun Inarin kasvullisen metsämaan männiköissä mitatut koelat kuutioidaan rinnankorkeuden läpimittaan perustuvalla taulukolla, pienenee variaatiokerroin 14 % siitä, miksi se saadaan todellisilla koelakuutioilla.

Inventoitavan puuston poikkeaminen rakenteeltaan siitä puustosta, josta paikallista kuutioimistaulukkoa laadittaessa käytetyt koepuut on mitattu, aiheuttaa taulukolla saatuun kuutioon systemaattista virhettä. Tärkeimmät läpimittaluokkien keskipuiden kuutiota muuttavat tekijät ovat kasvupaikan viljavuus ja tiheys, jossa puusto on saanut kasvaa. Iän merkitys on Inarin nykytutkimuksissa vähäinen, joka päätelmä voidaan ehkä joutua tarkistamaan, kun nuorien metsiköiden määrä lisääntyy.

Kasvupaikan vaikutusta osoittaa, että kun koepuuaineisto on koottu alueelta, jonka keskiboniteetti on lähinnä EMT, antaa taulukko ErC1T:llä noin 4 %:a

ja C1T:llä toin 11 %:a, liian suuren kuution. EVT:llä saadaan taas noin 5 %:a liian pieni kuutio.

Tiheyden vaikutusta taas osoittaa, että kun keskitiheys on 0.8, saadaan 0.3—0.4 tiheyttä oleville metsiköille 12 % ja 0.5—0.6 tiheyttä oleville metsiköille 4.5 % liian suuri kuutio. Tiheydeltään 0.9—1.0 oleville metsiköille saadaan 4.5 % liian pieni kuutio. Metsiköiden harvana kasvattaminen johtaa siihen, että puut kehittyvät lyhyemmiksi ja huonomuotoisemmiksi kuin täysitiheissä metsiköissä.

Kehitysluokittain ryhmitetyissä metsiköissä on saman läpimittaluokan keskipuun kuutio suurin väljennysmetsiköissä ja pienin jätepuustoissa sekä uudistusaloilla kasvaneissa puissa. Primäärinen keskipuun kuutioon vaikuttava tekijä on ilmeisestikin tiheys.

Ellei inventoitavien metsien keskiboniteetti vaihtelee paljon eikä puustojen keskitiheydessä ole suuria eroja, on paikallisen kuutioimistaulukon käytöstä aiheutuva virhe siksi pieni, että tällaista taulukkoa voidaan käyttää tapauksissa, joissa koealojen lukumäärä jää alle sadan. Ellei koepuita tarvitse mitata, voidaan näin säästyvällä työllä mitata enemmän koealoja, jolloin inventoinnin tarkkuus paranee koealojen suurenevan määrän vuoksi. Paikalliset kuutioimistaulukot sopisivat siten käytettäväksi nopeissa inventoinneissa ja esim. maatilametsien taloussuunnitelmia varten.

Yksityistä koelaa kuutioitaessa paikallinen taulukko saattaa antaa 10—20 %:n virheen. Sen suuruus on likimain tarkistettavissa mittaamalla mediaanipuun tarkka kuutio ja vertaamalla tätä taulukon antamaan mediaanipuun kuutioon. Kuitenkin kun kysymyksessä on yhden koelan kuutioiminen, ei rinnankorkeuden läpimittaan perustuvalla taulukolla ole voitettavissa paljoakaan muihin arvioimistapoihin verrattuna.

Kun inventoinnissa otetaan enemmän kuin 100 koelaa, ei oman koepuuaineiston mittaaminen vaadi kohtuuttoman suurta osuutta kenttätyöstä. Laskennan määrää koepuut sensijaan lisäävät paikallisen kuutioimistaulukon käyttämiseen verrattuna. Paikallisella taulukolla saadun kuution tarkkuutta voidaan tarkistaa mittaamalla 50—100 objektiivisesti valittua koepuuta. Kun ne kuutioidaan sekä taulukoilla että jollain tarkalla menetelmällä, on näiden kahta tietä lasketun kuution suhde korjauskerroin, jolla taulukoiden virhe on kontrolloitavissa.

4. Inventointikoealan edullisin koko Inarin olosuhteissa

41. Koealan ominaisuuksien vaikutus kuution vaihteluun

Koealakuutioiden vaihteluun vaikuttava tärkein tekijä on inventoitavan puuston rakenne. Mitä enemmän erilaisia ikä- ja kehitysluokkia puustoon kuuluu ja mitä enemmän hakkuutapa alueella vaihtelee, sitä suurempi on metsiköittäinen kuution vaihtelu ja sitä enemmän koealoja tarvitaan tietyn tarkkuuden saavuttamiseksi (vert. esim. PRODAN 1958). Puiden ryhmittymisen merkitys ilmenee siten, että mitä enemmän runkojen väliset etäisyydet vaihtelevat, sitä suurempi on saman kokoisten koealojen kuutioiden vaihtelu. Näkökohta menettää merkityksensä, jos koeala on niin suuri, että puiden ryhmittymisen epätasaisuudet tasottuvat koealan sisällä. Suuriin koealoihin liittyy kuitenkin se haitta, että niitä käytettäessä jää koealojen lukumäärä pienemmäksi, kuin jos käytettäisiin pienempiä koealoja ja säilytettäisiin arvioinnin kustannukset likimain yhtäsuurina kummassakin vaihtoehdossa. Metsiköittäinen vaihtelu puoltaa suurta määrää pieniä koealoja ja metsiköiden sisäinen vaihtelu suhteellisen suurikokoisia koealoja. Optimikoko edellyttää, että nämä molemmat näkökohdat otetaan tasapuolisesti huomioon ja niiden lisäksi myös koealan koon vaikutus työnmenekkiin. Täten optimikoko on eri erilaisissa metsissä.

Puiden ryhmittymistä lähemmin tarkasteltaessa on ensinnäkin ilmeistä, että jos puusto on selvästi ryhmittäistä, aukkoista ja harvaa, on sattumanvaraisesti metsään asetettavan koealan kuutio suuresti riippuvainen siitä, sattuuko se keskimääräistä tiheämpään tai harvempaan kohtaan. Mitä pienempi koeala on, sitä suuremmalla todennäköisyydellä se voi sattua joko miltei aukkoon tai tiheään ryhmään, ja sitä suuremmaksi kuutioiden vaihtelu muodostuu (vert. HASENKAMP 1954).

Koealan muodolla on myös merkitystä, joskin sen merkitys on koon merkitystä pienempi. Puuston ryhmät ja niiden väleihin jäävät aukot ovat lähinnä ympyrän muotoiset, ja sitä selvemmin, mitä lähempänä puusto on luonnontilaa, ja mitä karummasta kasvupaikasta on kysymys. On ajateltavissa, että ympyräkoeala sattuu useammin joko likimain aukkoon tai ryhmään kuin saman kokoinen muodoltaan pitkänomainen koeala. Täten ympyräkoealojen kuutioiden vaihte-

lisivat enemmän kuin esim. suorakaiteen muotoisten koealojen kuutioidet. Samalla lukumäärällä saman kokoisia suorakaidekoealoja saataisiin pienempi keskivirhe kuin ympyräkoealoilla.

Mainittuun näkökohtaan lienee tuskin kiinnitetty huomiota. Suorakaidekoealojen etuina mainitaan, että jos niiden pitkittäissuunta on kohtisuorassa maaston ja puuston pitkänomaisiin muotoihin nähden, ovat ne parempia kuin ympyräkoealat, ja että ne ovat helposti sekä luotettavasti rajoitettavia (BORRMAN 1953, LINDSEY, . . . 1958 ja KANGAS 1960).

Suomessa on viime aikoihin asti käytetty pääasiassa ympyräkoealoja, joiden yleisin koko on ollut 0.10 tai 0.05 ha. Tärkein koealan suhteellisen suureen kokoon vaikuttava tekijä on ilmeisestikin ollut pyrkimys saada yksityinen koeala edustamaan asianomaista metsikköä, mikä on välttämätöntä käytettäessä koealan mittaustuloksia silmävaraista arviointia tarkistettaessa. Ruotsissa on otettu käyttöön 0.01 ha:n suuruusluokkaa oleva koealakoko (Instruktion . . . 1958). Norjassa on myös suositeltu pieniä koealoja (STRAND 1957). Pienten koealojen etuina pidettäneen niiden nopeata ja luotettavaa rajoittamista sekä suurta lukumäärää, joka edistää metsiköittäisen vaihtelun edustetuksi tuleamista. Meilläkin on pieni koko yleistymässä (Enso-Gutzeit . . . 1958 ja KANGAS 1960). Useiden koealakuutioiden vaihtelua selvittävien tutkimusten perusteella on suositeltu puuston rakenteesta riippuen 0.05—0.10 ha:n suuruutta olevia kokoja (JOHNSON 1952, BORMANN 1953, LINDSEY, . . . 1958 ja PRODAN 1958).

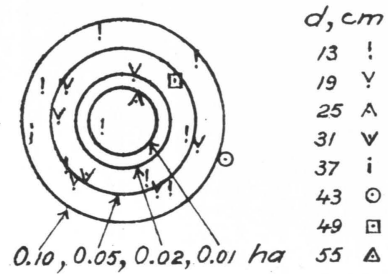
Tämän tutkimuksen puitteissa on mahdollisuus tarkastella ainoastaan puiden ryhmittymisen vaikutusta koealan kokoon. Tulos voi olla vain suuntaa antava, sillä käytettävissä ei ole kentällä mitattua aineistoa. Selvittely tapahtuu puustomallin avulla.

42. Puustomalli, koealat ja menetelmä

Puustomallia varten selvitettiin aluksi Inarin kasvullisen metsämaan märeikköitä vastaava keskimääräinen runkolukusarja. Kokeen suorittamisen ja laskennan helpottamiseksi yhdistettiin kolme 2 cm:n läpimittaluokkaa yhdeksi. Alle 10 cm:n vahvuisia puita ei otettu huomioon. Kuutioiminen suoritettiin taulukolla 8. Runkolukusarja on esitetty taulukossa 14.

Puustomalli valmistettiin 9 ha:n suuruista pinta alaa vastaavaksi siten, että jokaiselle hehtaarin ruudulle tuli taulukon 14 mukainen puusto. Mallilla ei siis esiintynyt metsiköittäistä vaihtelua.

Yksityistä puuta esitti neulan kärjen jälki ja kullakin läpimitalla oli oma merkkinsä. Puut pyrittiin ryhmittämään siten, että malli vastaisi keskimääräisiä olosuhteita Inarin männiköissä. Piirroksessa 15 on esitetty näyte puustomallista, käytetyt ympyräkoealat ja läpimittojen merkit.



Piirros 15. Koealat puustomallilla.
Fig. 15. Sample plots on the model stock.

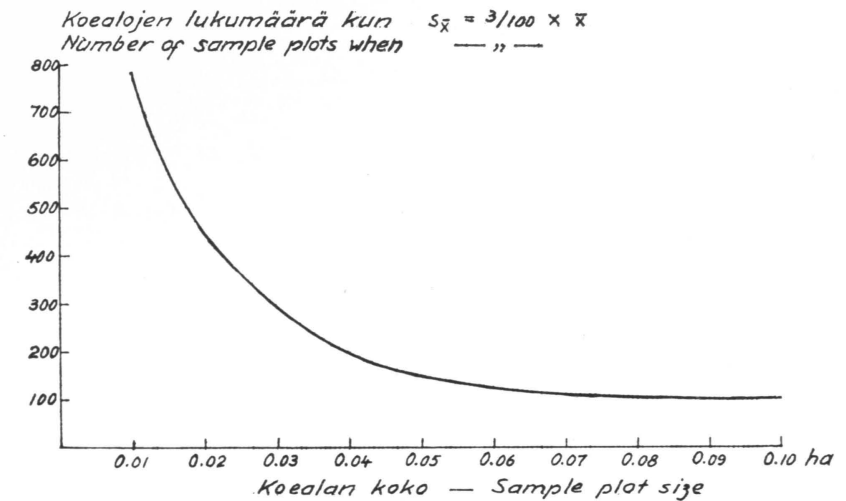
Taulukko 14. Puustomallin runkolukusarja hehtaaria kohden.
Table 14. Model stocktable for one hectare.

d, cm	Runkoluku Number of stems	Luokan kuutio, m ³ Class volume, m ³
13	110	7.150
19	100	16.600
25	50	16.200
31	25	13.300
37	10	8.230
43	2	2.206
49	1	1.312
55	1	2.350
Yht. — Total	299	67.348

Puustomallilla suoritettiin koeala-arviointi käyttäen ympyräkoalojen kokoja 0.01, 0.02, 0.05 ja 0.10 ha. Kutakin kokoa otettiin 100 kpl ja ne sijoitettiin mallille systemaattisesti linjoittain. Koealat uurrettiin selluloidilevylle ja puiden luvun ajaksi ne kiinnitettiin neulalla keskustastaan mallille. Koealan sisään sattuneet puut luettiin ja kuutioitiin taulukolla 8. Kuutioista laskettiin samat tilastolliset tunnuksat kuin metsässä mitattuja koealoja käsiteltäessä.

43. Tulokset

Puustomallilta otettujen näytteiden perusteella saadut tulokset on esitetty taulukossa 15. Keskivirheiden ja variaatiokertoimien tarkastelu osoittaa, että koealan koon pienessä kuutioiden vaihtelu suurenee voimakkaasti. Tämä ilmenee selvästi luvuissa, joista nähdään, kuinka monta koealaa tarvitaan, jotta keskivirhe olisi 3 % keskiarvosta. 0.10 ha:n koealoja käytettäessä se on noin 100 kpl ja 0.01 ha:n koealoilla aina 790 kpl (vert. piirros 16). Pienimpiä koe-



Piirros 16. Koealan koon vaikutus tarpeelliseen koealojen lukumäärään.
Fig. 16. Number of plots necessary as a function of plot size.

Taulukko 15. Koealakuutioiden vaihtelu.
Table 15. Variability of the sample plot volumes.

Koealan koko Plot size ha	n	0-koealat 0-plots	\bar{x}	s	c.v.	$s_{\bar{x}}$	$100 \frac{s_{\bar{x}}}{\bar{x}}$	$\frac{n \text{ kun } s_{\bar{x}} = 3/100 \cdot \bar{x}}{n \text{ when } s_{\bar{x}} = 3/100 \cdot \bar{x}}$
0.01	100	8	63.08	53.02	0.84	5.30	8.4	787
0.02	100	1	67.77	41.99	0.62	4.20	6.2	428
0.05	100	—	70.59	25.85	0.37	2.59	3.7	149
0.10	100	—	68.82	20.59	0.30	2.10	3.1	103

aloja käytettäessä tulee myös merkittävän paljon 0 koealoja eli sellaisia, joille ei satu yhtään puuta. Jo tämän vuoksi on 0.01 ha:n koealaa pidettävä liian pieninä puustomallin olosuhteissa.

Maastossa mitattujen 0.10 ha:n koealojen kuutioiden vaihtelu (taulukko 3 s. 28) on tuntuvasti pienempi kuin mallilta mitattujen samansuuruisien koealojen vaihtelu, mikä johtuu siitä, että mallilla ei ole metsiköittäistä vaihtelua. Eri suuret koealakuutiot johtuvat yksinomaan puiden ryhmittymisestä metsikössä. On myös otettava huomioon mahdollisuus, että puiden ryhmittymisen mallilla ei vastaa täysin puiden ryhmittymistä todellisuudessa.

44. Päätelmät

Tulosten perusteella on pääteltävissä, että koealakuutioiden vaihtelu on selvästi riippuvainen koealan koosta ja puiden ryhmittymisestä metsässä. Koealan koon pienetessä ja puiden ryhmittyneisyyden lisääntyessä vaihtelu suurenee.

Jos kiinnitetään huomio vain kokoon, on puustomallin mukaisissa olosuhteissa edullisin koko noin 0.05 ha. Tällöin tietyn tarkkuuden saavuttamiseksi tarpeellinen arvioimissadannes on pienin. Pienin koko, 0.01 ha, on selvästi epäedullisin.

Mitä epätasaisemmasta ja harvemmasta puustosta on kysymys, sitä suurempi on edullisin koeala. Koealan suuretsa taas sen mitattavuus vaikeutuu ja koealojen lukumäärä tulee suhteessa metsiköiden vaihteluun ehkä liian pieneksi. Koska inventoitavassa metsässä on aina myös metsiköiden vaihtelua, jonka huomioon ottaminen edellyttää koealojen lukumäärän lisäämistä, on koealan pienennettävä siitä, mikä näyttää edullisimmalta ilman metsiköiden vaihtelua. Sanotun perusteella näyttää siltä, että Pohjois-Suomessakaan on tuskin olosuhteita, joissa edullisin inventointikoeala olisi suurempi kuin 0.05 ha. Inarin olosuhteissa voitaneen suositella 0.04 ha:n kokoa. Etelä-Suomessa, jossa puusto on tasaisempi, tiheämpi ja metsiköiden vaihtelu suurempi, edullisin koko on todennäköisesti pienempi.

5. Inventointia suunniteltaessa huomioon otettavia näkökohtia

Inventointia suunniteltaessa tunnetaan yleensä asianomaisen metsän kokonaisala. On määriteltävä arvion tarkkuus, johon pyritään. Lisäksi tarvitaan tietoja maan kuvioiden ja puuston vaihtelusta. Suunnittelu on luotettavalla pohjalla, jos tunnetaan tärkeimpien osapinta-alojen kuten joutomaan, huonokasvuisen metsämaan ja kasvullisen metsämaan osuudet sekä niiden ryhmittymisen alueelle sekä puuston kehitysluokkasuhteet, tiheys ja tasaisuus. Nämä tiedot ovat summittaisia ja inventoinnin tarkoituksena on niiden lähempi selvittäminen.

Jos arviointi suoritetaan pelkästään koealoilla, ts. keskikuutiot ja kaikki pinta-alasuhteet lasketaan koealakuutioiden ja koealojen jakaantumisen perusteella, tällöin riittää, kun tunnetaan puuston määrään ensisijaisesti vaikuttavat pinta-alasuhteet sekä koealakuutioiden todennäköinen vaihtelu.

Oletetaan, että aiempien inventointitulosten ja hakkuutilastojen perusteella puustoista kasvullista metsämaata (A_p) on kokonaisalasta (A_i) noin 60 %. Kokonaisala on puustoisen kasvullisen metsämaan ja muun maan (A_q) summa: $A_i = A_p + A_q$. Puustoisen kasvullisen metsämaan osuusluku (\bar{p}) on 0.6 ja muun maan osuusluku (\bar{q}) on 0.4. Osuuslukujen summa on 1, eli $\bar{p} + \bar{q} = 1$. Jos koko ala on 510 ha, on summittaisen ennakoarvion mukaan puustoista kasvullista metsämaata 310 ha ja muuta maata 200 ha.

Puustoisen kasvullisen metsämaan kokonaiskuutio on pinta-ala kertaa keskikuutio. Jos pinta-ala arvioidaan koealojen jakaantumisen perusteella, on kysymys pistearviointista. Osapinta-alan A_p tarkkuutta ilmoittavan sadanneksen (p) ja sen saavuttamiseksi tarpeellisen pisteiden lukumäärän (n) välinen suhde ilmenee yhtälöstä (lähemmin esim. SNEDECOR 1953):

$$n = \frac{t^2 \bar{p} \bar{q}}{\left(\frac{p}{100} - \bar{p}\right)^2}$$

jossa t määritellään kaavalla

$$\pm t = \frac{\bar{x} - X}{s_{\bar{x}}}$$

Kun tarkkuus ilmaistaan kaksinkertaisella keskivirheellä, on $t = 2$.

Suomessa käytettyjen ohjeiden mukaan (esim. Tapion Taskukirja, 1959 ja OSARA 1948) tulisi esimerkissä olevaa metsäalaa kohden linjoittaisessa koealuarvioinnissa noin 130 koealaa, jolloin linja- ja koealaväli on 200 m. Esitetyllä kaavalla ja 130 arviointipisteellä saadaan puustoisien kasvullisen metsämaan alan tarkkuussadannekseksi 14.3 %. 3 %:n tarkkuuden saavuttamiseksi tarvitaan 2 960 pistettä. — Käytetty kaava edellyttää, että pistearvio on sattumanvarainen. Systemaattista otantaa käytettäessä tarkkuus on ehkä hieman parempi (vert. s. 7).

Koska 130 koealalla saadaan puustoisien kasvullisen metsämaan ala noin 14 %:n tarkkuudella, ja koska keskikuutioon tulee oma tilastollinen virheensä, ei pelkällä koealuarvioinnilla saada läheskään aina sitä tarkkuutta, mitä maasamme käytetyissä ohjeissa sanotaan saavutettavan. Ainoastaan silloin, kun arvioitava alue on kutakuinkin kokonaan puustoista kasvullista metsämaata, ja kun puusto on miltei yksinomaan samaa rakenneluokkaa, ei osapinta-alojen suhteilla ole sanottavaa merkitystä. Tällöin arvio saadaan kohtuullisen tarkaksi pienellä koealojen lukumäärällä. Sensijaan kun alue koostuu puustoltaan erilaisista osista, ja ennenkaikkea kun sillä on runsaasti aukeita uudistusaloja ja taimistoja, on pelkän koealainvoinnin tulokseen suhtauduttava tähänastista kriittisemmin.

Pyrkimys lisätä tarkkuutta johtaa stratifioituun otantaan. Jos tärkeiden osapinta-alojen ja puustoluokkien pinta-alat selvitetään jollain tarkemmalla tavalla, kuin mitä ne saadaan koealojen jakaantumisen perusteella, ja kunkin ositteiden keskikuutio sekä muut taksatoriset tunnuksot selvitetään koealoilla, pienee osapinta-alojen virheellisyys ja kokonaiskuutien tarkkuus paranee tuntuvasti. Stratifioitujen otannan periaatetta valaisee seuraava esimerkki, jossa inventoinnissa on käytetty 0.03 ha:n suuruisia koealoja, ja jossa kokonaisala on jaettu neljään ositteeseen: aukeat alat, aukeat uudistusalat, taimistot ja nuoret metsiköt sekä muut metsiköt. Ositteiden alat, koealojen jakaantuminen, keskikuutiot ja variaatiokertoimet ovat seuraavassa:

Ositteiden ala ha	n	\bar{x}	c.v.
1.8	3	0	0
14.6	16	.64	.30
25.2	21	1.12	.33
129.0	133	13.01	.42
Koko ala	173	10.20	.73

Jos keskikuutio lasketaan käsitellen koealat yhtenä kokonaisuutena ja keskivirhe lasketaan kaavalla (2), saadaan keskivirheeksi 5.5 % verrattuna keskikuutioon. Jos taas keskikuutio lasketaan ositteittain, saadaan keskivirheeksi kaavalla (5) 3.5 %. Kun Neymanin kaavalla (7) selvitetään 173 koealan optimijakaantumisen ositteisiin, on keskivirhe 3.0 %. Stratifioitua otantaa ja koealojen optimijakaantumista käyttäen tarvitaan 5 %:n suuruisen keskivirheen saamiseksi noin 85 koealaa eli vajaat puolet verrattuna saman tarkkuuden edellyttämään koealamäärään käytettäessä stratifioimatonta otantaa. Keskivirheiden tarkastelun sisältämät näkökohdat ilmenevät myös tarkastelemalla koealojen jakaantumisen perusteella saatavia ositteiden pinta-aloja, jotka poikkeavat oikeista pinta-aloista. Stratifioitujen otannan edellytyksenä on kuitenkin, että ositteiden puustot muodostavat rakenneluokkia, joiden vaihtelu on pienempi kuin kokonaisuutensa vaihtelu.

Linja-arviointi tarjoaa koealojen jakaantumista luotettavamman menetelmän ositteiden pinta-alojen selvittämiseksi. Sopivan linjasuunnan määrittämiseksi tutkitaan kokonaiskuutien kannalta tärkeimpien osapinta-alojen ryhmitymistä inventoitavalle alueelle. Linjasuunta on pyrittävä saamaan sellaiseksi, että tärkeintä osapinta-alaa leikkaa mahdollisimman monta linjaa. Jos tarkastelun kohteena on puustoinen kasvullinen metsämaa, projisioidaan sen kuvat kartalla alueen laiduille. Projisiointikuvat muunnetaan sama-alaisiksi suorakaiteiksi siten, että kunkin suorakaiteen sivu mahdollisessa linjasuunnassa on yhtäsuuri kuin alkuperäisen projisiointikuvion pisin halkaisija samassa suunnassa. Tällöin edullisin linjasuunta on se, jota ja muuttumatonta linjaväliä käyttäen mahdollisimman moni linja leikkaa muunnetun suorakaiteen (tarkemmin sivuilla 17—23). Jos kokonaisalan viereiset sivut ovat likimain yhtä pitkät, leikkaa edullisin linjasuunta kohtisuorasti sitä sivua, jonka suunnassa tärkeimmän osapinta-alan jakaantuminen on tasaisin. Muodoltaan pitkänomaisella alueella edullisin linjasuunta on tavallisesti kohtisuorassa alueen pitkän sivun suhteen. Maasto- ja puustokuvien pitkittäissuunta on usein kohtisuorassa edullisinta linjasuuntaa vastaan.

Kun osapinta-ala halutaan p %:n tarkkuudella, jolloin tarkkuutta osottaa kaksinkertainen keskivirhe, lasketaan tarpeellinen osapinta-alan muunnettua suorakaidetta leikkaavien linjojen lukumäärä likimääräisellä kaavalla:

$$\frac{1}{2n - 1} = \frac{3p}{200}$$

Kaavassa on p arvion tarkkuutta osoittava sadannes ja n linjojen lukumäärä. Linjaluvun ja pinta-alan arvion tarkkuuden välistä riippuvuussuhdetta valaisee seuraava lukusarja:

linjaluku	5	10	15	20	25	30	40	50	60
tarkkuus-%	7.4	3.5	2.3	1.7	1.4	1.1	0.8	0.7	0.6

Ellei kuutiomäärän kannalta tärkeä osapinta-ala ole kasautunut jommalle kummalle linjojen suuntaiselle alueen laidalle, saadaan likimääräinen tarkkuus selville laskemalla, kunka monta linjaa leikkaa koko aluetta. Vastaavasti saadaan linjaväli, kun linjojen suuntaan nähden kohtisuora alueen halkaisija jaetaan halutulla linjaluvulla. Kohtuullinen osapinta-alojen tarkkuus edellyttää, että pienillä alueilla käytetään vähintään 15 linjaa ja suurehkoilla alueilla noin 30 linjaa.

Koealojen edustavuus on suurin, jos niitä maastoon sijoitettaessa linjaväli on yhtä suuri kuin koealaväli linjalla. Pienillä alueilla, varsinkin jos niiden muoto on likimain neliö, ei koealojen sijoittamiseksi tarpeellinen linjasto ole riittävän tiheä osapinta-alojen arvioimista varten. Linjalukua voidaan lisätä pidentämällä koealaväliä. Koska koealojen tasaisesta jakaantumisesta ei ole edullista tinkiä paljon, täytyy pienalueilla ajaa koealojen sijoittamiseksi tarpeellisten linjojen väliin lisälinjoja pinta-alojen halutun tarkkuuden edellyttämä määrä.

Tarkimmin saadaan pinta-alat kartoituksella. Tämä on mahdollista lähinnä niissä tapauksissa, joissa puuston arvioinnin yhteydessä valmistetaan metsikkökartta. Vähin kustannuksin saadaan tarkat pinta-alat siten, että koealalinjastoa ajettaessa piirretään ositteiksi tarkoitettujen puustoluokkien rajat ilmakuvalle, josta pinta-alasuhteet mitataan planimetrillä tai poletilla.

Inarin olosuhteissa näyttää siltä, että kehitysluokat eivät ole riittävän homogeenisia ositteiksi. Tämä johtunee lähinnä metsien yli-ikäisyydestä, harvuudesta ja aukkoisuudesta. Koeala-arvioinnin luotettavuus lisääntyy kuitenkin suuresti, jos joutomaan, huonokasvuisen metsämaan, aukeiden ja harvapuustoisten uudistusalojen, taimistojen ja nuorten metsiköiden sekä yhtenä kokonaisuutena muiden metsiköiden pinta-alat selvitetään linja-arvioinnilla tai kartoittamalla sekä näiden ositteiden keskikuutiot koealoilla. Etelä-Suomessa voitaneen sopivasti kehitysluokkien ryhmistä saada perusta stratifioidulle otannalle.

Koealojen tarpeellinen lukumäärä on riippuvainen halutusta tarkkuudesta ja koealakuutioiden vaihtelusta. Jos Inarin olosuhteissa käytetään 0.10 ha:n suuruisia koealoja, ja jos vaihtelun tunnuksena pidetään tässä tutkimuksessa käytetyn kokonaisaineiston variaatiokerrointa 0.51 ja tarkkuuden tunnuksena kaksinkertaista keskivirhettä, saadaan kasvullisen metsämaan keskikuutio ilman stratifiointia 10 %:n tarkkuudella, kun koealoja on noin 100 kpl, 6 %:n tarkkuudella, kun koealoja on noin 290 kpl, ja 3 %:n tarkkuudella, kun koealoja on noin 1 180 kpl (vert. piirros 8 s. 29). Piirroksen 16 perusteella voidaan päätellä, että saman tarkkuuden saavuttamiseksi 0.05 ha:n koealoja tarvitaan noin 40 % enemmän. Pienalueilla, joilla otannan suhde (n/N) muodostuu suuremmaksi kuin 0.05, pienentää kerroin $\sqrt{1 - n/N}$ keskivirhettä, joten koealoja tarvitaan vähemmän kuin suuralueilla. Pienillä alueilla on myös metsiköittäinen vaihtelu vähäisempi, joka sekin puolestaan pienentää tarpeellisten koealojen määrää.

Jos Inarin olosuhteissa on kysymys muutaman sadan hehtaarin metsäpinta-

alasta, johon ei kuulu aukeita uudistusaloja eikä poikkeuksellisen epätasaisia metsiköitä, voidaan stratifioimattoman inventoinnin suunnittelussa olettaa, että 0.10 ha:n ympyräkoealoja käytettäessä variaatiokerroin on 0.30—0.35, 0.05 ha:n koealoja käytettäessä noin 0.40 ja 0.04 ha:n koealoja käytettäessä 0.40—0.45. Tarpeellinen koealojen määrä lasketaan kaavoilla (3) ja (4) s. 13. Jos alueella on eri kehitysluokkiin kuuluvia metsiköitä ja puusto on epätasaista, suurenee variaatiokerroin. Sen ääriarvoina voidaan pitää arvoja 0.50 ja 1.00, kun koealan koko vaihtelee välillä 0.10—0.04 ha. — Esitetyt variaatiokertoimet ovat pääosalta summittaisia arvioita inventointien suunnittelua varten.

Stratifioitua otantaa käytettäessä harkitaan sopivat ositteet sekä niille kullekin oma variaatiokerroin. Koealojen tarpeellinen määrä ja optimijakaantumisen ositteisiin lasketaan kaavoilla (5), (6) ja (7) s. 14. Menetelmä on periaatteessa sama, mitä on käytetty tarpeellista koepuiden lukumäärää ja läpimittaluokkiin jakaantumista tutkittaessa sivuilla 32—37.

Edellä on ollut kysymys koealojen perusteella saatavan keskikuution tarkkuudesta. Se osoittaa kokonaiskuution tarkkuutta ainoastaan silloin, kun kokonaisala ja ositteiden alat ovat virheettömät. Jos pinta-alat perustuvat otantaan, on niissä oma tilastollinen virheensä, joka omalla osuudellaan suurentaa kokonaiskuution virhettä.

Inventointikoealojen edullisimman koon suhteen voidaan todeta, että mitä vähemmän alueella on metsikkövaihteluita ja mitä suurempi on metsiköiden sisäinen vaihtelu, sitä suurempi on sopiva koealan koko. Jos taas metsiköiden sisäinen vaihtelu vähenee, voidaan koealan kokoa pienentää arvion tarkkuuden siitä kärsimättä. Suuri metsiköiden välinen vaihtelu, so. suuret kehitysluokkat erot edellyttävät stratifioimattomassa otannassa suurta koealojen määrää ja vastaavasti pientä kokoa. Toisaalta mitä selvempiä kehitysluokkia voidaan puustossa erottaa, sitä tuntuvampia ovat stratifioidun otannan edut. Stratifioidussa otannassa on metsiköiden sisäinen vaihtelu tärkein koealan kokoon vaikuttava tekijä. Muodon suhteen saattaa suorakaidekoeala tarjota tiettyjä etuja, sillä se ei ehkä »mahdu» puuston aukkoihin ja puuryhmiin yhtä helposti kuin sama-alainen ympyräkoeala. Edullisimpaan kokoon ja muotoon vaikuttavat myös rajoituksen nopeus ja luotettavuus.

Eri näkökohdat huomioon ottaen näyttäisi Inarin nykypuustolle sopivan parhaiten noin 0.04 ha:n suuruinen ympyräkoeala. Koska metsiköiden välinen vaihtelu on Etelä-Suomessa suurempi ja metsikön sisäinen vaihtelu pienempi kuin Inarissa, on etelämpänä todennäköisesti edellä mainittua kokoa pienempi koeala sopiva.

Kun koealojen koko ja lukumäärä tiedetään, voidaan laskea niiden yhteinen ala, ts. se ala, jolta puut tullaan lukemaan. Aiempien inventointien perusteella on pääteltävissä luettavaksi tulevien puiden määrä ja jakaantuminen läpimittaluokkiin. Inarin alueella voidaan tähän käyttää taulukkoa 1 s. 11. Näiden tietojen perusteella suunnitellaan tarpeellinen koepuiden määrä, jakaantuminen läpi-

mittaluokkiin ja otannan menetelmä silloin, kun yksityisten koealojen tarkkaa kuutiota ei haluta selvittää.

Koealoilla luettava puusto muodostaa läpimittaluokittain ositteisiin jaetun populaation. Sen kuution selvittämiseksi tarpeellinen koepuiden lukumäärä ja niiden optimijakaantumisen läpimittaluokkiin perustuu haluttuun tarkkuuteen, puiden kuutiomäärän vaihteluun ja luettavaksi tulevien puiden lukumäärään läpimittaluokittain. Käytettävä menetelmä on selostettu lähemmin sivuilla 32—37. Tässä yhteydessä on tarpeen todeta, että 2 cm:n luokkiin luettujen puiden kuutioiden variaatiokerroin on tärkeimmissä läpimittaluokissa likimain 0.18. Jos Inarin olosuhteissa mitataan 300 inventointikoealaa, ja jos koealan koko on 0.10 ha, mikä merkitsee sitä, että puusto luetaan 30 ha:n alalta, saadaan luetun puuston kuutio 1 %:n keskivirheen tarkkuudella noin 400 koepuulla ja 0.5 %:n keskivirheen tarkkuudella noin 1 000 koepuulla. Koepuiden optimijakaantumisen läpimittaluokkiin on esitetty suhteellisena sivulla 35. Kun koepuita otetaan noin 400—500 kpl, on optimijakaantumisen mukaisesti pyrittävä saamaan niitä eri läpimittaluokista seuraavasti:

d-luokka, cm	13 ja alle	15—17	19—27	29—35	37 ja yli
koepuita kutakin luokkaa kohden	10	20	30	20	kaikki luetut

Kun koealojen yhteinen pinta-ala pienenee edellä mainitusta 30 ha:sta, voidaan tyytyä myös vähäisempään koepuiden määrään. Kun kysymyksessä on yhden puulajin metsä, voitaneen 200—300 koepuuta pitää pienimpänä mahdollisena määränä. Jos puulajeja on useampia kuin yksi, tai jos ositteiden kuutiot halutaan likimain yhtä tarkasti kuin kokonaiskuutio, on koepuiden lukumäärää suurennettava edellä esitetyistä luvuista.

Kun koepuiden haluttu määrä läpimittaluokittain on selvitetty, verrataan sitä läpimittaluokittain luettavaksi tulevien puiden määrään ja lasketaan sopiva otannan suhde. Otannan suhteen sijasta voidaan koepuita valittaessa käyttää sopiville läpimittaluokkien ryhmille omia koealoja, joiden pinta-ala lasketaan sen mukaan, paljonko koepuita halutaan (esim. Instruktio... 1958). Kummassakin vaihtoehdossa on pidettävä huolta siitä, että koepuita saadaan vähintään haluttu määrä. Ylimääräisistä koepuista aiheutuu suhteellisen vähän lisätyötä, mutta liian pieni määrä heikentää arvion tarkkuutta.

Kun koepuiden perusteella lasketaan yksikkökuutiot asianomaisen puuston kuutioimiseksi, käytetään aritmeettisia keskikuutioita tasottamattomina. Näin menetellen vältetään systemaattisen virheen vaara, joka sisältyy tasotukseen niissä läpimittaluokissa, joissa koepuita on vähän. Jos taas yksikkökuutioita on tarkoitus käyttää myös muissa inventoinneissa luetun puuston kuutioimiseen, tasotetaan yksikkökuutiot, sillä tasottamattomiin yksikkökuutioihin sisältyy vaihtelua, joka on ominaista vain sille puustolle, josta koepuut on mitattu.

Rinnankorkeuden läpimittaan perustuvaa kuutioimista käytettäessä on otettava huomioon, että koealakuutioiden vaihtelu pienenee, ja että keskivirhe saadaan todellisuutta pienemmäksi. Niinpä Inarin kasvullisten metsämaiden männiköissä mitattujen 0.10 ha:n koealojen kuution variaatiokerroin pieneni 14 %. Todellisen vaihtelun selvittämiseksi on ajateltavissa, että jokaisella koealalla mitataan mediaanipuun tarkka kuutio, jonka perusteella taulukoilla saatu kuutio korjataan (s. 45). Käytännössä vaihtelun tunnus voitaneen kuitenkin korjata kokemusperäisesti sillä tarkkuudella, kuin mitä virhelaskelmia varten on tarpeen. Tämä edellyttää kuitenkin, että vaihtelun tunnuksen pieneneminen erilaisissa metsissä tunnetaan nykyistä täydellisemmin.

Paikallisen rinnankorkeuden läpimittaan perustuvan kuutioimistaulukon merkittävin etu on se, että sitä käytettäessä voidaan runkolukusarjan kuutioita ilman enempiä mittauksia. Sen käyttöä taas rajoittaa yksikkökuutioiden muuttuminen kasvupaikan viljavuuden ja puuston rakenteen muuttuessa.

Tärkeimmät yksikkökuutioiden suuruuteen vaikuttavat primääriset tekijät ovat metsätyyppi ja tiheys, jossa puut ovat ennen inventointia kasvaneet. Tutkimuksessa käytetty koepuuaineisto on koottu alueelta, jonka keskiboniteetti vastaa lähinnä EMT:tä. Aineiston perusteella laadittu taulukko antaa EVT:n metsiköille 5—6 % liian pienen, ErCIT:n metsiköille 4 % liian suuren ja kuivimpien kankaiden metsiköille 11 % ja kasvullisten soiden metsiköille aina 18 % liian suuren kuution. Tiheyden vaikutus on lähes yhtä tuntuva. Keskimääräinen taulukko aliarvioi tiheän ja yliarvioi harvan metsikön kuution. Tiheyden muuttuessa Inarin männiköissä 1.0—0.3 on kuutiomäärien ero noin 15 %. Yksityisillä koealoilla ovat poikkeamat vielä suurempia. Koska tiheys muuttuu iän, kehitysluokan ja kuutiomäärän muuttuessa, voidaan myös näiden tunnusten perusteella päätellä keskimääräisen taulukon antaman virheen suuruutta.

Paikallisen kuutioimistaulukon käyttämisestä aiheutuvan virheen suuruudesta voidaan tehdä päätelmiä vertaamalla inventoitavan metsän tunnuksia siihen metsään, josta taulukon koepuut on mitattu. Jos Inarin alueella suoritettavissa inventoinneissa käytetään taulukkoa 9 (s. 39), tapahtuu päättely taulukon 1 ja piirrosten 9—13 perusteella (sivut 11 ja 42). Mahdollinen systemaattinen virhe todetaan kuitenkin tarkimmin mittaamalla objektiivisesti valittuja koepuita, jotka kuutioidaan sekä taulukolla että jollain tarkalla kuutioimistavalla. Tarkoitukseen riittänee 10—20 % siitä koepuiden määrästä, joka on tarpeen oman kuutioimistaulukon laatimista varten.

Mikäli yksityinen koeala kuutioidaan paikallisella taulukolla, on senkin kuutio tarkistettavissa edellä mainituilla tavoilla. Yksityiselle koealalle ei kuitenkaan voida odottaa kovin suurta tarkkuutta.

Koska inventointien suunnittelu perustuu tiedoille maan kuvioiden ja puuston vaihteluista, olisi näitä tietoja koottava ja julkaistava systemaattisesti. Maan osalta on parhain tietolähde käytettävissä oleva kartasto. Puuston tunnusten osalta olisi ennen muuta tiedettävä, miten eri kokoisten ja muotoisten

koalojen kuutiot vaihtelevat alueittain ja puulajivaltaisuudeltaan erilaisissa metsissä. Stratifioidun otannan suunnittelua varten on kuution vaihtelu tunnettava kehitysluokittain. Koepuiden otannan suunnittelua varten taas tarvitaan tietoja runkolukusarjasta ja puiden kuution vaihtelusta läpimittaluokissa alueittain, puulajeittain, metsätyypeittäin ja kehitysluokittain. Mikäli käytetään rinnankorkeuden läpimittaan perustuvia kuutioimistaulukoita, tarvitaan tietoja kasvupaikan ja puuston tunnusten vaikutuksesta yksikkökuutioihin sekä kuinka paljon taulukoiden käyttäminen pienentää koelakuutioiden vaihtelua. Tämän kaltaisten tietojen merkitys suurenee, kun uudistamiseen tähtäävä hakkuutoiminta lisää metsien rakennevaihtelua. Inventointitulosten yhteydessä tulisi julkaista mahdollisimman paljon uusien inventointien suunnittelua helpottavaa aineistoa.

Kirjallisuusluettelo — References

- ARMAN, VALTER. 1948. Några preliminära resultat från rikstaxeringen av Blekinge, Kristianstads, Malmöhus och Hallands län. Sv. Skogsvårdsför. Tidskr. No. 6.
- BORMANN, F. H. 1953. The statistical efficiency of sample plot size and shape in forest ecology. Ecology 34.
- Census of Woodlands 1947—1949. 1952. Forestry Commission, Census Report No. 1. London.
- Enso-Gutzeit osakeyhtiön metsien arviointi. Maastotyön ohjeet. 1958. Moniste.
- ERICSSON, BERNHARD. 1898. Jemförande undersökning om resultatet av specialuppräknings och linietaxering af timmerskog. Finska Forstföreningens Meddelanden XV.
- FINNEY, D. J. 1947. Volume estimation of standing timber by sampling. Forestry, Vol. XXI, No. 2.
- 1948. Random and systematic sampling in timber survey. Forestry, Vol. XXII, No. 1.
- FRIES, THORE, C. E. 1919. Den synekologiska linjetaxeringsmetoden. Medd. fr. Abisko Naturvetenskapliga station. No. 2. Uppsala.
- Forest survey field instructions for Iowa. 1953. Central States Forest Exp. Station. Columbus, Ohio. Moniste.
- GIRARD, JAMES W. and GEVORKIANTZ, SUREN R. 1939. Timber cruising. Forest Service, U.S. Dep. of Agriculture. Washington, D.C.
- HAGBERG, ERIK. 1952. Statens skogsforskningsinstitut 1902—1952. Kap. VI. Avdelning för skogstaxering. (Historik, Taxeringsmetoder, Värmland enligt tre taxeringar, Planläggning av den tredje riksskogstaxeringen.) Medd. Bd 42 No. 1. Stockholm.
- 1957. The new Swedish National forest survey. Unasylva, Vol. 11, No. 1.
- HASENKAMP, J. G. 1954. Die Genauigkeit der systematischen Stichprobeaufnahme bei forstlichen Vorratsinventuren. Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft. No. 35. Reinbeck bei Hamburg.
- HOLOPAINEN, VIJO. 1956. Yksityismetsien luovutusmäärä, sitä vastaava kantorahatulo ja raakapuun hintataso Keski-Suomen metsänhoitolautakunnan alueella hakkuuvuotena 1953/54. Hakkuu- ja hintatilaston metodia käsittelevä esitutkimus. Summary: Removal of private forests, stumpage and prices of round wood in the area of Keski-Suomi District Forestry Board in the felling years 1953/54. SF 89.
- HUMMEL, F. C. 1949. The method employed in the National Forest Survey of Great Britain. Act. du III Congr. for. mond. Helsinki.
- , LOCKE, G. M. L., JEFFERS, A. I. S. and CHRISTIE, J. M. 1959. Code of sample plot procedure. Forestry Commission, Bulletin No. 31. London.
- ILVESSALO, YRJÖ. 1920. Linja-arvioimisen tarkkuudesta. Ylipainos Suomen Metsätieteellisen Seuran pöytäkirjoista.
- 1923. Tutkimuksia yksityismetsien tilasta Hämeen läänin keskiosissa. AFF 26.
- 1927. Suomen metsät. Tulokset vuosina 1921—1924 suoritetusta valtakunnan metsien arvioimisesta. Summary: The forests of Suomi (Finland). Results of the general survey of the forests of the country carried out during the years 1921—1924. MTJ 11.

- ILVESSALO, YRJÖ. 1935. Käytännöllisistä metsänarvioimistavoista. SF 39.
- 1942. Suomen metsävarat ja metsien tila. II valtakunnan metsien arviointi. Summary: The forest resources and the condition of the forests of Finland. The second national forest survey. MTJ 30.
- 1948. Pystypuiden kuutioimis- ja kasvunlaskentataulukot. Helsinki.
- 1951. III valtakunnan metsien arviointi. Suunnitelma ja maastotyön ohjeet. Summary: Third national forest survey of Finland. Plan and instructions for field work. MTJ 39.
- 1956. Suomen metsät vuosista 1921—24 vuosiin 1951—53. Kolmeen valtakunnan metsien inventointiin perustuva tutkimus. Summary: The forests of Finland from 1921—24 to 1951—53. A survey based on three national forest inventories. MTJ 47.
- Instruktion för arbetet å marken under Riksskogstaxeringen. 1958. Stockholm.
- JOHNSON, F. A. and HIXON, H. J. 1952. The most efficient size and shape of plot to use for cruising in old growth Douglas-fir timber. Jour. of For. 50: 17—20.
- KANGAS, YRJÖ. 1960. Koealan muoto ja koko koeala-arvioinnissa. Summary: The influence of plot shape and size on sample plot survey. MA, n:o 12, 1959 ja MA, n:o 1 ja 2, 1960.
- KNUCHEL, HERMANN. 1950. Planung und Kontrolle im Forstbetrieb. Aarau.
- KUUSELA, KULLERVO. 1960. Volume and increment calculation of a sample plot determined with the relascope. Selostus: Kuution ja kasvun laskenta relaskoopilla määritetyllä koealalla. AFF 71.
- LANGSAETER, A. 1932—34. Nøyaktigheten ved linjetaksering av skog. I—II. Resumé: Accuracy in strip survey of forests. Medd. fr. norske skogsforsøksvesen, No. IV—V.
- LAPPI-SEPPÄLÄ, M. 1924. Linja-arvioimisesta ja sen tarkkuudesta. Referat: Über die Linientaxierung und deren Genauigkeit. MTJ 7.
- LINDBERG, J. W. 1924. Über die Berechnung des Mittelfehlers des Resultates einer Linientaxierung. AFF 25.
- 1926. Zur Theorie der Linientaxierung. AFF 31.
- LINDSEY, A. A. 1955. Testing the line-strip method against full tallies in diverse forest types. Ecology 36: 485—495.
- LINDSEY, A. A., BARTON, J. D., Jr., and MILES, S. R. 1958. Field efficiencies of forest sampling methods. Ecology 39 (3).
- LINNAMIES, OLAVI. 1959. Valtion metsät sekä niiden hoidon ja käytön yleissuunnitelma. Summary: The state Forests of Finland and a general management plan for them. Helsinki.
- LISSDANIELS, OSKAR M:SON. 1947. Om provytornas storlek ock inbördes avstånd vid linjetaxering. Summary. Sv. skogsvårdsf. tidskr.
- LOETSCH, F. 1955. Waldflächeninventuren im Kleinprivatwald mit Stichprobeverfahren unter weitgehender Benutzung des Luftbildes. Forstarchiv, Jg. 26.
- MATERN, BERTIL. 1947. Metoder att uppskatta noggrannheten vid linje- och provytetaxering. Medd. fr. Statens Skogsforskningsinstitut. H. 36, No. 1. Stockholm.
- 1959. Några tillämpningar av teorin för geometriska sannolikheter. Statens Skogsforskningsinstitut. Uppsatser No. 72. Stockholm.
- MCNEMAR, QUINN. 1949. Psychological statistics. New York-London.
- MEJORADA, N. S., ESCARPITA, A. H. and HUQUET, L. 1958. A forest inventory in Mexico. Unasylva, Vol. 12, No. 2.
- NISULA, PENTTI. 1952. Eräs tapa läpimittaluokan keskipuun kuution määrittämiseksi. MA No. 1.
- NYSSÖNEN, AARNE. 1954. Metsikön kuutiomäärän arvioiminen relaskoopin avulla. Summary: Estimation of stand volume by means of the relascope. MTJ 44.6.
- Metsäkäsikirja, 2. osa. 1957. Helsinki.

- NÄSLUND, MANFRED. 1930. Om medelfelets beräkning vid linjetaxering. Sv. Skogsvårdsf. Tidskr.
- 1939. Om medelfelets härledning vid linje- och provytetaxering. Medd. fr. Statens Skogsforsöksanstalt. H. 31, No. 7. Stockholm.
- 1944. Antalet provträd och kubikmassans noggrannhet vid stamräkning av skog. The number of sample trees and the accuracy of the cubic volume in forest estimation by stem accounting. Medd. fr. Statens Skogsforsöksanstalt. H. 34, No. 2. Stockholm.
- OSARA, N. A. 1948. Maatilametsälön taloussuunnitelma. Keskusmetsäseura Tapio. Helsinki.
- PRODAN, M. 1958. Untersuchungen über die Durchführung von Repräsentativaufnahmen. Allg. Forst- u. Jagdztg. 129 (1).
- ROGERS, EARL J. 1958. Report of Working Group 4 (Foresters), Commission VII, International Society of Photogrammetry. Photogr. Engin. Vol. XXIV, No. 4. Washington D.C.
- SNEDECOR, GEORG W. 1953. Statistical methods. Ames. Iowa.
- STRAND, LARS. 1957. Virkning af platestørrelsen på nøyaktigheten ved prøvetlatetakster. Summary: The effect of the plot size on the accuracy of forest surveys. Medd. fr. norske skogsforsøksvesen. No. 48.
- AF STRÖM, ISRAEL. 1830. Handbok för skogshushållare. 2 uppl. Stockholm.
- Tapion Taskukirja. 14 painos. 1959. Keskusmetsäseura Tapio. Helsinki.
- VUOKILA, YRJÖ. 1959. Relaskoopimenetelmän tarkkuudesta puuston arvioinnissa. Summary: On the accuracy of the relascope method of cruising. MTJ 51.4.
- ÖSTLIND, JOSEF. 1932. Erforderlig taxeringsprocent vid linjetaxering av skog. Sv. Skogsvårdsf. Tidskr.

Lyhennykset — Abbreviations

- AFF = Acta Forestalia Fennica, Helsinki.
- MA = Metsätaloudellinen Aikakauslehti, Helsinki.
- MTJ = Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja, Communicationes Instituti Forestalis Fenniae, Helsinki.
- SF = Silva Fennica, Helsinki.

SUMMARY:

VARIATION OF THE SITE PATTERN AND GROWING STOCK AND ITS EFFECT ON THE PRECISION OF FOREST INVENTORY

1. Introduction

Purpose and scope of the investigation

The purpose of the investigation is to study the characteristics of the site and the growing stock and the effect of their variation on the precision of forest inventory. The total area of the forest tract is considered as being already known or it can be measured with surveying. The sub-areas or strata (such as productive and poorly productive forest land, waste land, areas under different age classes, development stages, etc.) and the mean timber volume of each wooded stratum are estimated by sampling. Thus the total volume of each stratum is the product of the estimates of the area and mean volume. Precision of a statistical estimate is a function of population size, variation of the characteristics surveyed, sampling method, and sampling intensity. Errors in area and mean volume accumulate to the total volume.

Only the line method of sampling the areas will be examined. Attention will be given to the pattern in which the sub-area to be estimated is distributed on the total tract and to the effect of the distribution on the precision of the estimate.

The mean volume is usually estimated by the plot method in which the precision depends on the variation of the plot volumes caused by the differences in age classes and development stages of the stands composing the growing stock and by the grouping of the trees within the stands. The size, shape, and number of plots should be in due accordance with the stock characteristics for attaining the precision desired economically.

Not only the growing stock but also the trees tallied on the plots form a statistical universe. The tallied volume is calculated on the basis of the sample trees selected from the tallied stock, and its precision is dependent on the variation of the sample tree volumes by diameter classes, population size, and the number of sample trees.

Stock characteristics and their effect on the precision were analyzed from field material. Although the inventory method applied is not entirely governed by the statistical concept of precision but is also related to the measuring technique, mensurational accuracy, and the economics of sampling, these aspects are beyond the scope of this investigation.

Field material

The field material was measured in the inventory of the Finnish State Forests (LINNAMIES 1959) with the method used in the Third National Forest Inventory (ILVESSALO 1951 and 1954). The circular plots, 0.10 hectare in size, and the sample trees were measured in the commercial forests (excluding protection forests) of the Inari district. The study area was located in the most northern part of Finland where Scotch pine is the only commercial species.

In this systematic line-plot method the distance between the lines was 5 km. and the

distance between the plots 1 km. The number of plots, their distribution by sub-groups and the number of sample trees are presented in Tables 1 and 2 (p. 11 and 12).

The trees were tallied by 2 cm. diameter classes and the sample trees, 8—10 per plot, were measured for calculating individual plot volumes with ILVESSALO's volume tables (1948). These plot volumes based on diameter, height, and tapering class are considered correct in the following treatment.

From the standpoint of statistical analyses there are some weaknesses in the material. It was collected with systematic sampling, while sound statistical reasoning presupposes random sampling. The selection of the sample trees was not entirely objective. Because a minimum of 6—8 sample trees per plot was considered necessary for estimating individual plot volumes, the number of sample trees is comparatively greater in stands of low density than in stands of high density. The trees most extreme in form are possibly not fully represented. Besides this, the use of tables with adjusted unit volumes tends to level the actual variation of the tree volumes. Although the conventional methods can be applied in analyzing the material (FINNEY 1947 and 1948), which is considered as a pilot sample for planning new inventories, the weaknesses should be kept in mind in comparing the statistical characteristics with the results of other investigations.

The statistical treatment of the material

The formulas used in the statistical treatment are given on pages 13—14. The symbols are: N = number of sampling units in the population, \bar{X} = population mean, S = standard deviation of the population, n = number of units in the sample, x = value of a unit, \bar{x} = sample mean, s = standard deviation of the sample, $s^2 = v$ = sample variance, c.v. = coefficient of variation, $s_{\bar{x}}$ = standard error of the sample mean, L = number of strata, N_h = number of sampling units in the stratum h , n_h = number of units in a sample taken from the stratum h , $v_{\bar{x}}$ = variance of the mean of the total sample. The standard error is calculated by formula (1) for a sample-mean from infinite population (n/N is less than 0.05) and by formula (2) for a sample mean from finite population (n/N is more than 0.05). The required number of sampling units for attaining a desired standard error is calculated correspondingly by formulas (3) and (4). In a stratified sampling the variance of the mean of the total sample is calculated with formula (5), the required number of units in the total sample for attaining a desired standard error with formula (6) and the optimum allocation of the units into strata with Neyman's formula (7).

2. Factors affecting the precision of the area estimated with the line method

In the line method the estimate of a sub-area is based on the length of the parallel lines falling on it. The precision as a function of the number of lines can be reasoned by using a geometric model in which the sub-area is represented by a rectangle with one pair of sides parallel to the survey lines. If the left side of the rectangle is placed exactly in the middle of the line interval (Fig. 1, p. 18) and the right side falls just to the right of the last line crossing the rectangle, the maximum error is calculated by formula (8), p. 18, where n is the number of lines. If the right side falls just to the left of the first line not crossing the rectangle, the maximum error is calculated by formula (9), p. 18. If the net of lines falls randomly on the rectangle (Fig. 2, p. 19), the maximum error is calculated by formula (10), p. 19.

If the area to be estimated is not rectangular in shape (Fig. 3, p. 20), the same number of lines gives a much greater maximum error than in the case of a rectangle of the same size.

The topographic figures of the sub-area under estimation may be accumulated in one part of the tract (Figures 4 and 5, p. 21), and if projected along the bottom side of the tract, the projection figure (with diagonal lines) of the sub-area is in Fig. 4 almost a rectangle and in Fig. 5 almost a triangle. The vertical direction of survey lines gives in Fig. 5 a greater maximum error than in Fig. 4.

The accumulation of the sub-area, regardless of the longitudinal direction of the topographic figures, is the primary factor in determining the most advantageous direction of the survey lines and the precision of the estimate. In Fig. 6 on p. 22 the vertical direction of the 8 lines gives the maximum error of 6.7 % and the horizontal direction 12.8 %.

The optimum direction of the lines is determined by projecting the topographic figures of the sub-area on the adjacent sides of the tract. Both of the projection figures are converted into rectangles of equal size which are so placed that the side parallel to the probable line direction equals the longest diameter of the projection figure in the same direction. The direction of equidistant lines which gives the greatest number of lines crossing the converted rectangle is the best one.

Because the maximum error occurs very seldom, the required number of lines for attaining the precision of *p* per cent can be calculated by formula (11), p. 24. Thus, roughly speaking, the 95 % confidence interval depends on the number of lines crossing the rectangle converted from a projection figure as seen below:

Number of lines	5	10	15	20	25	30	40	50	60
Precision per cent	7.4	3.5	2.3	1.7	1.4	1.1	0.8	0.7	0.6

3. Variation in volume in the Scotch pine stock of Inari and its effect on the precision

The variation of the sample-plot volumes on productive forest land by development stages is presented in Table 3, p. 28 and by age classes in Table 4, p. 30. The coefficient of variation is a little greater in the age classes than in the development stages. For the total population it is 0.51 and for the sub-groups 0.42—0.50. Though the development stages form better strata for statistical sampling than the age classes they are not very homogenous in an over-mature stock. The new seedling and sapling stands in particular are heterogenous because of the standards above them. The number of 0.10-ha. sample plots needed for attaining the precision of 2—10 per cent on 95 % confidence limit is presented in Fig. 8, p. 29.

The variation of the sample-tree volume in proportion to the mean volume of the diameter class is almost constant in the most important diameter classes. The coefficient of variation is 0.18.

The standard error of the tallied volume in diameter classes 3—35 cm. (17 477 trees) attained with 2 507 sample trees is calculated in Table 6, p. 34. The volume in each class (*V*) is $N\bar{x}$ and the standard error $Ns_{\bar{x}}$. The standard error of the tallied volume is $\sqrt{\Sigma (Ns_{\bar{x}})^2}$ or 0.28 %.

Using formulas (5), (6) and (7), the standard error of 0.86 % can be attained with 399 sample trees and the optimum allocation by diameter classes. A minimum of 1 015 sample trees is necessary to obtain a standard error of 0.51 %.

If the tallied volume is comprised of trees from 25—30 hectares the proportional optimum allocation of sample trees is as follows:

d, cm.	3—5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31	33	35	Total
%	1.5	1.4	2.2	3.2	4.3	5.2	6.7	8.7	9.6	9.3	9.3	9.6	8.4	7.7	6.6	6.3	100.0

The standard error of 1 % can be attained with the following amounts of sample trees from each diameter class:

d-class, cm.	13 and less	15—17	19—27	29—35	37 and less
sample trees					all tallied
from each class	10	20	30	20	trees

If a volume table with diameter as a variable is used for the same stock from which the sample trees are taken, the unadjusted means of the diameter classes should be used as unit volumes in order to avoid possible errors caused by the adjustment procedure (Table 8, p. 39). The adjusted means are used as a local volume table (Table 9, p. 39).

The sample-plot volumes based on Table 8 and the comparison with the correct volumes are presented in Table 10, p. 40. The coefficient of variation of the plot volumes based on diameter decreases by 14 % as compared to the coefficient of variation of the correct volumes. The corresponding standard error over-estimates the precision of the mean volume. The mean volume has a systematic error of 2.1 % because the number of sample trees from stands of low density is proportionally greater than the number of sample trees from stands of high density.

In order to determine the way in which the mean volumes in the diameter classes depend on some stand characteristics, the plot volumes calculated from Table 8 are compared with the correct volumes after eliminating the systematic error. In Figures 9—13, p. 42—43, the 0-line represents the correct volumes and the broken line shows the per cent by which the plot volumes based on diameter deviate from the correct ones.

Site and density are the most important characteristics affecting the tree volumes as a function of diameter. On the best forest site type, EVT, the average unit volumes corresponding to the EMT forest site type give plot volumes which are 5—6 % too small. On the poor ErCIT site type the over-estimation is 11 % and on the productive swamps 18 %. The variation of the plot volumes as a function of density class is about 15 %. The tree volumes vary also as a function of development stage, age, and stand volume but the density is obviously the primary factor.

Because the use of the volume table based on diameter may cause errors of great significance in forest inventories, it raises the problem of how to check and correct the estimates. If 400—500 sample trees are considered to be sufficient as a basis for a volume table for a surveyed stock, the systematic error of a local volume table can be checked with 50—100 sample trees selected objectively. Correction is based on the equation:

$$\frac{\text{accurate sample-tree volumes}}{\text{table volumes for sample trees}} = \frac{\text{accurate stock volume}}{\text{table volume for stock}}$$

The same equation was tested in correcting the individual plot volumes. Supposing that the difference between the accurate volumes and the table volumes is proportionally the same in each diameter class on a plot (Fig. 14, p. 46), the volume of the three trees nearest to the median and bigger than it was calculated from Table 8 and a volume table having diameter, height, and tapering class as variables. The proportion of these volumes was used in correcting the plot volumes calculated by using Table 8. The results are presented in Table 11, p. 47. The systematic error of the mean volume is almost eliminated. The standard deviation is larger than the correct one because of the extra variation caused by the correction method. Though the expected result is obtained, the method can hardly be applied in practical work. The systematic error of a local volume table is more easily corrected with a small number of sample trees and the decreased variation of the plot volumes can be corrected empirically for the precision analysis.

The corrected volumes for the plots measured on poorly productive forest land are presented in Table 12, p. 48, and the local volume table for trees on poorly productive forest land is seen in Table 13, p. 49.

4. Suitable sample plot size in the forests of Inari

The variation of the sample-plot volumes is caused by the variation of stand structure and grouping of trees within the stands. The variation by stands tends to necessitate a great number of sample plot and the variation within the stands a comparatively large size of plots. Because the groups of trees often have a circular form, a rectangle plot may be more favorable than the circular one of the same size. The most suitable size is obviously an appropriate compromise of the conflicting claims mentioned above as well as of the reliability and expenses of the determination of the plots in the field.

The influence of the variable distances between the trees was studied in a model stock (Table 14, p. 54) which covered an area of 9 hectares. The mean volume of the model stock was estimated with 100 plots of different sizes (Fig. 15, p. 54). Results are presented in Table 15 and Fig. 16, p. 55.

If the trees are located in groups the small plots fall often either within the groups or in the gaps between the groups, and the variation of the plot volumes is high. Without any variation by stands the suitable plot size in Inari is 0.4–0.5 ha. and with an average variation by stands not more than 0.4 ha. In South-Finland where the variation by stands is greater and the internal structure of the stands more homogenous the suitable plot size is obviously smaller.

5. Some viewpoints in planning new inventories

The total area should be broken down into suitable strata. At least the productive forest land under full stock, regeneration areas with few mother trees, seedling and sapling stands, open areas, poorly productive forest land, and waste land should be separated and their area estimated either from maps or aerial photographs or by the line method. The mean volume for each stratum is estimated with the plot method. An advance estimation of the approximate mean volume and the coefficient of variation of the strata are needed for calculating the optimum allocation of plots.

The mean volume in Inari is 70–80 m³/ha. If the plot size is 0.10 ha. the coefficient of variation is about 0.50. In small areas and homogenous growing stock the coefficient of variation 0.30–0.35 for statistical strata can be used. With decreasing plot size the variation increases.

The number of sample trees and the optimum allocation of the trees by diameter classes is based on the preliminary data of the stock table, total area of plots to be measured, and the coefficient of variation of the tree volumes by diameter classes. In the case of pine at Inari the coefficient of variation of each diameter class is about 0.18.

If the volume calculation is done with the diameter as variable the variation of the plot volumes is decreased. If the local volume table is used and the site and stock characteristics differ from the characteristics of the volume-table stock, a significant systematic error is possible. The error can be checked with a comparatively small number of sample trees or using data like that in Figures 9–13, s. 42.

Planning of efficient and economical forest inventories requires data concerning site and stock variation. It should be calculated and published systematically by geographical regions.