

FOLIA FORESTALIA 100

METSÄNTUTKIMUSLAITOS · INSTITUTUM FORESTALE FENNIAE · HELSINKI 1971

ESKO LEINONEN JA KALEVI PULLINEN

TILAVUUSPAINO-OTANTA KUITUPUUN
MITTAUKSESSA

GREEN DENSITY SAMPLING IN PULPWOOD
SCALING

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

Esko Leinonen – Kalevi Pullinen

TILAVUUSPAINO-OTANTA KUITUPUUN MITTAUKSESSA

Green density sampling in pulpwood scaling

Summary in English

ALKUSANAT

Metsäntutkimuslaitoksen metsäteknologian osaston työohjelmaan kuuluu yhtenä osana puutavaran mittausmenetelmien kehittäminen. Esillä oleva tutkimuslause on osa tästä tutkimuksesta.

Työn toteuttamisen on tehnyt mahdolliseksi Insinööritoimisto Jaakko Pöyry & Co Ky:n, Tehdaspuu Oy:n ja Oy W. Rosenlew Ab:n tuki ja myönteinen suhtautuminen. Näiden yhtiöiden edustajina ovat tutkimuksen eri vaiheissa olleet mukana metsänhoitajat JAAKKO EBELING, HANS von SCHOULTZ, ANTTI RENKO ja RAIMO KOSKINEN.

Kirjoittajista on metsänhoitaja Leinonen johtanut tutkimuksen ja ylioppilas Pullinen on Leinosen valvonnassa kerännyt suurimman osan

aineistoa sekä suorittanut sen käsittelyn. Tutkimuslauseen laadinnassa on pohjana ollut Pullisen tästä aiheesta metsätutkintoa varten tekemä laudaturtyö. Käsikirjoituksen on lukenut tohtori PENTTI HAKKILA esittäen siitä monia varteenotettavia näkökohtia. Osan aineistosta keräsi metsäteknikko PENTTI SAVILAMPI. Aineiston tilastollisessa käsittelyssä on avustanut luonnontieteiden kandidaatti ARJA PANHELAINEN. Laskentatyöhön on osallistunut myös rouva KAISA JUUTISTENAHO. Piirrookset on tehnyt neiti TARJA KALLIALA ja konekirjoituksen neiti RAIJA SIEKKINEN.

Kaikille osallistuneille esitän parhaimmat kiitokseni.

Helsingissä, tammikuussa 1971

Veijo Heiskanen

SISÄLLYSLUETTELO

	Sivu
ALKUSANAT	1
SUMMARY IN ENGLISH	3
TIIVISTELMÄ	4
1. JOHDANTO	5
2. PAINOON PERUSTUVAT MITTAUSMENETELMÄT	5
3. PAINOMITTAUKSEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	6
31. Puun ominaisuuksien vaikutus	6
32. Käytännön asettamat rajoitukset	7
4. TUTKIMUKSEN TAVOITE	8
5. TUTKIMUSAINEISTO	9
6. TUTKIMUSMENETELMÄ	10
7. TULOKSET	12
71. Tilavuuspainon vaihtelu pölkkyjen välillä	12
72. Tilavuuspainon vaihtelu kuorman eri osissa	12
73. Tilavuuspainon vaihtelu kuormien välillä	12
74. Tilavuuspainon vaihteluun vaikuttavat tekijät	14
75. Mittausmenetelmien vertailu	14
751. Painon mittaus	14
752. Tilavuuden mittaus	15
753. Pinomittauksen ja painomittauksen vertailu	15
754. Pinomittauksen ja tilavuuspaino-otantamenetelmän vertailu	17
76. Näytteen koon määrittäminen	19
8. TILAVUUSPAINO-OTANNAN KEHITTÄMINEN	19
KIRJALLISUUSLUETTELO	21

SUMMARY

The purpose of this study was to establish how accurately the solid volume of the load can be determined from its weight and the green density of a bolt sample taken from the load. The method is called *green density sampling* (Fig. 1). A focal point in the study is the bolt-to-bolt variation of green density in the load and in its different parts and the load-to-load variation of green density. Conclusions may be drawn from these characteristics about aspects of the sampling procedure.

The investigation material was divided into two parts. Material I was collected at the mills of Oy Kaukas Ab in Lappeenranta in June–July 1970 as a joint project of the Forest Research Institute, consulting engineers Jaakko Pöyry & Co and Tehdaspuu Oy. The material consisted of 52 loads of 2-m, normally limbed unbarked pine pulpwood. Material II was collected in connection with a dry-weight measuring study at the mills of Oy W. Rosenlew Ab in Pori during August–October. This material comprised 61 loads and consisted of unbarked, close-limbed pine, spruce and birch pulpwood of uniform length (Table 1). The piled measure of all the loads was taken, the weight of the load was determined on an automobile weighing platform and the weight and solid volume of the bolts contained in a sample taken from a load were measured. Material I was also measured by the immersion method. Over 14,000 bolts were measured individually. Per-bolt measurements were made for 13 complete loads. The bolt weight was read from a scale, the volume was calculated from the bolt length and middle diameter.

The main results of the study are as follows:

The variation coefficient of green density within the load was 15 per cent for pine, 12 per cent for spruce and 8 per cent for hardwood. The softwood loads were divided into degrees of seasoning by visual estimation or moisture percentage determined from sample discs: green wood, slightly seasoned wood and mixed loads. The coefficients of bolt-to-bolt variations are given in Table 3. The bolt-to-bolt green density

variation was greater in slightly seasoned timber classified as green.

Comparison of the green densities of the different parts of the load revealed no systematic differences in the different parts of the load. Stepwise regression analysis was performed for material I to elucidate the within-load green density deviation. The average green density of the load and the visually estimated seasoning degree proved to be the best independent variables for green density variation.

The load-to-load variations of green density were considerably smaller than those within the loads. The coefficient of variation was 9 per cent for pine, 13 per cent for spruce and 7 per cent for hardwood. Dividing the loads into degrees of seasoning appreciably reduced the green density variation (Table 4).

Comparison between the accuracy of weight measurement and pile measurement reveals how well these methods indicate the *solid volume* of the quantity of wood measured. The coefficients of variation of pile density and green density were compared with the correlation between the measuring results and the solid volume in material I. The coefficient of variation of pile density was 3.3 per cent; the coefficient of load-to-load variation of green density in the same loads was 8.8 per cent, but considerably smaller for the different degrees of seasoning. The coefficient of correlation between piled measure and solid measure was 0.87; the corresponding ratio between weight and solid measure was 0.70. The per-load estimates obtained by green density sampling and pile measurement are compared in Fig. 2 with the results obtained by the immersion method. For green timber, green density sampling is an equally accurate measuring method as pile measurement for determining the *per-load* solid volume. For seasoned timber and mixed loads, pile measurement is more accurate. For *load groups* consisting of several loads the method gave equally accurate results for all degrees of seasoning. It is probably not necessary in this last category to take

the sample bolts for green density measurement from all the loads of the group.

Conclusions were drawn concerning the size of the sample to be taken from the load on the basis on the deviations obtained in the study. A green density sample of about 1 piled cu.m. (20–30 bolts) gives satisfactory results for 2-m pulpwood. It is possible to calculate from the formula on p. 19 the number of sample loads required for a population consisting of several loads.

When analysing the investigation results, the investigation material and time of the study

must be borne in mind: normally-limbed pulpwood of uniform length, measured in the summer. The biggest problem of the green density sampling method today is fast and accurate determination of the green density of the sample bolts. It is possible to work out various solutions based on a balance and xylo-meter.

When the method is applied in practice additional studies of the measuring devices and the measuring method are required at individual mills.

TIIVISTELMÄ

Tämän tutkimuksen tavoitteena on selvittää, kuinka tarkasti kuorman kiintokuutio voidaan määrittää kuorman painon ja kuormasta otetun pölkkynäytteen tuoretilavuuspainon avulla. Menetelmää kutstuaan *tilavuuspaino-otannaksi* (kuva 1). Keskeisenä kysymyksenä tutkimuksessa on pölkkytysten tilavuuspainojen vaihtelu kuormassa ja sen eri osissa sekä kuormien välinen tilavuuspainon vaihtelu. Näiden tunnusten perusteella voidaan tehdä johtopäätöksiä edustavan näytteen ottamiseen liittyvistä seikoista.

Tutkimusaineisto jakaantui kahteen osaan. Aineisto I kerättiin kesä–heinäkuussa 1970 Oy Kaukas Ab:n tehtailla Lappeenrannassa Metsäntutkimuslaitoksen, insinööri-toimisto Jaakko Pöyry & Co:n ja Tehdaspuu Oy:n yhteistyönä. Aineisto käsitti kaksimetristä, normaalikarsitua kuorellista mäntykuitupuuta 52 kuormaa. Aineisto II kerättiin Oy W. Rosenlew Ab:n tehtailla Porissa elo–lokakuun aikana kuivapainomittaus tutkimuksen yhteydessä. Tämän aineiston suuruus oli 61 kuormaa ja se koostui tasapituudesta, kuorellisesta pinnanmyötäisesti karsitusta mänty-, kuusi- ja koivukuitupuusta (taulukko 1). Kaikista kuormista mitattiin pinomitta, määritettiin kuorman paino autovaa'alla sekä suoritettiin kuormasta otetun näytteen sisältämien pölkkyjen painon ja kiintomittauksia. Aineistosta I suoritettiin lisäksi upotusmittaus. Pölkkytän mittaukset kohdistuivat yli 14 000 pölkkyyn; kuormista 13 mitattiin kokonaisuudessaan pölkkytän. Pölkkyjen paino määritettiin vaa'alla, tilavuus pölkyn pituuden ja keskusläpimitan mukaan.

Tutkimuksen päätulokset ovat seuraavat:

Kuorman sisäinen tilavuuspainon variaatiokerroin oli männyllä 15 %, kuusella 12 % ja lehtipuulla 8 %. Silmävaraisen arvioinnin tai koekiekoista määritetyn kosteusprosentin avulla havupuukuormat jaettiin kuivumisasteisiin: tuore puu, kuivahtanut puu ja sekakuormat. Pölkkyjen väliset tilavuuspainon variaatiokerroimet on esitetty taulukossa 3. Kuivahtaneella puulla pölkkyjen välinen tilavuuspainon vaihtelu on suurempi kuin tuoreeksi luokitellulla.

Kuorman eri osien tilavuuspainoja vertailtaessa ei voitu havaita systemaattisia tilavuuspainoeroja kuorman eri osissa. Kuorman sisäisen tilavuuspainohajonnan selittämiseksi suoritettiin aineistosta I valikoiva regressioanalyysi. Parhaimmiksi tilavuuspainon vaihtelun selittäjiksi osoittautuivat kuorman keskimääräinen tilavuuspaino ja silmävaraisesti arvioitu kuivumisaste.

Kuormien väliset tilavuuspainon vaihtelut olivat melkoisesti kuormien sisäisiä pienempiä. Variaatiokerroin männyllä oli 9 %, kuusella 13 % ja lehtipuulla 7 %. Tilavuuspainon vaihtelua voitiin huomattavasti pienentää jakamalla kuormat kuivumisasteisiin (taulukko 4).

Painomittauksen ja pinomittauksen tarkkuuden vertailuperusteena on se, kuinka hyvin nämä menetelmät kuvaavat mitatun puumäärän *kiintomittaa*. Tällöin verrataan toisiinsa pinotiheyden ja tilavuuspainon variaatiokertoimia sekä mittaustulosten ja upotusmittauslaitteen avulla määritetyn kiintomittan välistä riippuvuutta aineistossa I. Pinotiheyden variaatioker-

roin oli 3.3 %; kuormien välinen tilavuuspainon variaatiokerroin samoissa kuormissa 8.8 %, mutta eri kuivumisasteilla melkoisesti tätä pienempi. Korrelaatiokerroin pinomitan ja kiintomitan välillä oli 0.87; vastaava luku painon ja kiintomitan välillä oli 0.70. Tilavuuspaino-otannan ja pinomittauksen antamia kuormittaisia estimaatteja on verrattu upotusmittauksen tuloksiin kuvassa 2. Tuoreella puulla tilavuuspaino-otanta on *kuormittaisen* kiintomitan määrittämisessä yhtä tarkka mittausmenetelmä kuin pinomittaus, kuivuneella puulla ja seka-kuormilla pinomittaus on sen sijaan tarkempi. Useita kuormia käsittävillä *kuormaryhmille* menetelmä antoi yhtä tarkkoja tuloksia kaikille kuivumisasteille. Tällöin tilavuuspainon määrittämisessä tarvittavien näytepölkkyjen ottaminen kaikista perusjoukon kuormista ei liene tarpeellista.

Tutkimuksessa saatujen hajontalukujen perusteella on tehty päätelmiä kuormasta otettavan näytteen suuruudesta. Sen mukaan n. 1 p-m³:n (20–30 pölkkyä) tilavuuspainonäyte antaa tyydyttäviä tuloksia kaksimetrisellä kuitupuulla. Useita kuormia käsittävissä perusjoukossa tarvittava näytekkuormamäärä on mahdollista laskea sivulla 19 esitettyllä kaavalla.

Tutkimustuloksia tarkasteltaessa on huomattava tutkimusaineisto ja -ajankohta: kesällä mitattu, tasapituinen, normaalikarsittu kuitupu. Tilavuuspaino-otantamenetelmän kehittämisen suurin ongelma on tällä hetkellä näytepölkkyjen tilavuuspainon nopea ja tarkka määrittäminen. Erilaisia vaakaan ja ksylometriin perustuvia ratkaisuja on mahdollista kehittää.

Menetelmää käytäntöön sovellettaessa tehdaskohtaiset mittauslaitteita ja -menetelmää koskevat lisäselvitykset ovat tarpeen.

1. JOHDANTO

Metsä- ja puutaloudessa, erityisesti puunkorjuussa, tapahtunut kehitys on pakottanut uudistamaan myös puutavaran mittausmenetelmiä. Perinteelliset menetelmät ovat nimittäin koneelliseen korjuuketjuun soveltumattomia, tarkkuudeltaan riittämättömiä tai muuten epätarkoituksenmukaisia. On tosin kehitetty leimikon pystymittausmenetelmä, mutta toisaalta esiintyy voimakkaana tarve saada rationaalinen mittausmenetelmä, jolla puutavaran määrä voitaisiin riittävällä tarkkuudella todeta korjuuketjun toisessakin päässä. Tehdasmittausmenetelmien kehittämisen puolesta puhuvat seuraavat näkökohdat:

1. Samalla paikalla mitattavat puumäärät muodostuvat suuriksi, jolloin yksikkökustannukset pienenevät ja otannan käyttö mahdollistuu.

2. Mittaustapahtuma on mahdollista mekanisoida hyvinkin pitkälle, mikä vähentää subjektiivisen päätöksenteon osuutta.

3. Mittaustietojen rekisteröinti ja käsittely on helppo automatisoida ja yhdistää laajempiin kokonaisuuksiin.

Tehdasmittausten merkitys on erityisesti Ruotsissa huomattava, ja myös meillä varsinkin kuormaotantamittaus on viime aikoina herättänyt kiinnostusta. Kuitenkin ovat menetelmät, joissa tulee kysymykseen puutavaran punnitseminen, olleet meille vieraita. Tässä tutkimuksessa käsitellään puutavaran punnitsemisen ja siihen liitetyn otannan käyttöä puutavaran mitauksessa. Otannan käyttäminen totaalisen mitauksen sijasta on monissa yhteyksissä osoittautunut tarkoituksenmukaiseksi. Tämä tutkimus perustuu sen lisäksi ajatukseen, että *paino on puun mielekäs mitta*.

2. PAINOON PERUSTUVAT MITTAUSMENETELMÄT

Painomittauksen soveltamiseksi käytäntöön on kehitetty useita eri menetelmiä. Seuraavassa

esitetään muutamia painomittausmahdollisuuksia pääasiassa HAKKILAN (1970) mukaan.

1. *Tuorepainon mittaus ilman korjauksia.* Menetelmää käytetään USA:n etelävaltioissa, joissa puu saapuu tuoreena ja kosteudeltaan tasaisena jalostuslaitoksille. Vaatimaton kantohinta meidän oloihimme verrattuna lieventää mittauksen tarkkuusvaatimuksia. Pelkässä tuorepainon mittauksessa puumäärä ilmoitetaan erän tuorepainona tai vakiokertoimella tilavuusyksiköiksi muunnettuna (ks. Puutavaran mitaussäätö, 1969). Menetelmä on käytännössä erittäin helppo: ajoneuvo punnitaan sekä kuormattuna että tyhjänä. Tosin menetelmä vaatii autovaa'an ja on siten tehtaalle tai mittausasemalle sidottu.

Puutavaran kosteuden ja tiheyden vaihtelusta johtuu tilavuusyksikön painon vaihtelu. Tästä syystä puun tuorepaino ei ole tarkka puun tilavuuden kuvaaja. Tuorepainon mittausta voitaneen meillä käyttää vain tuoreen lehtipuun mittauksessa.

2. *Tuorepainon korjaus kosteuden vaihtelua selittävien muuttujien avulla.* Menetelmässä kosteusvaihtelujen aiheuttama virhe pyritään eliminoimaan punnitustuloksesta korjaustekijöiden, kuten esimerkiksi hakkuuajankohdan, varastointiajan pituuden ja ilmastotietojen avulla (NISULA 1968). Käytännössä tällaisten korjaustekijöiden määrittäminen on vaikeata, ja lisäksi vaikuttavat kosteuden selittämättä jäänyt vaihtelu sekä puuaineen tiheyden vaihtelu. Painomittauksen tarkkuutta voidaan täten parantaa, mutta tämänkin menetelmän tarkkuus lieenee riittämätön. Menetelmän tavoitteena on puerän tuorepaino tai sen muuntaminen vakiokertoimella tilavuusyksiköksi.

3. *Tuorepainon muuntaminen kiintotilavuudeksi paino-otannalla.* Menetelmä perustuu puuerän tuorepainoon ja näytteestä määritettyyn tilavuuspainoon. Näyteyksikkönä voi olla kokonainen kuorma tai nippu (LEINONEN ja RIKKONEN 1969) tai osa mitattavan kuorman pölkkyistä (NISULA 1967). Ensin mainitussa tapauksessa tulos saadaan useita kuormia käsittävää erää koskevana, viimeksi mainitussa tapauksessa sen sijaan on mahdollista myös kuormakohtaisten kuutiomäärien selvittäminen. Mikäli näyte on edustava, parantaa otanta ratkaisevasti painomittauksen tarkkuutta. Olennaisinta menetelmässä on se, että tehtaalle saapuvan puun tilavuuspainoa jatkuvasti seurataan. Menetelmän tavoitteena on puerän kiintomitta.

4. *Tuorepainon muuntaminen kuivapainoksi kosteusnäytteen avulla.* Useissa yhteyksissä on osoitettu (mm. NYLINDER 1958), että kuivapaino on puun kuitua käyttävän teollisuuden raaka-aineelle tarkoituksenmukaisempi kuin tilavuus. Puuerän kuivapainon määrittäminen perustuu tuorepainoon ja erästä otetun näytteen kosteuden määrittämiseen. Käytännössä näyte otetaan moottorisahalla tai siihen verrattavalla laitteella puruna. Kuivapainomittaus on saavuttanut melkoisen laajaa käyttöä erityisesti Norjassa, jossa myös purunäytteen ottoa varten on kehitetty käyttökelpoinen laitteisto (BRAATHE ja OKSTAD 1964). Kuivapainomittaus on herättänyt kiinnostusta myös Suomessa ja on tutkimuksen alaisena Metsäntutkimuslaitoksessa (LEINONEN 1970 a). Menetelmän tavoitteena on puerän kuivapaino.

3. PAINOMITTAUKSEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

31. Puun ominaisuuksien vaikutus

Puun kosteuden ja tiheyden vaihtelu aiheuttaa puun tilavuuspainossa huomattavaa vaihtelua. Se on suuri erityisesti puulajien välillä, mutta myös saman puulajin kohdalla tilavuuspainon vaihtelut ovat melkoisia. Painomittauksen kannalta on määriteltävä ensin seuraavat käsitteet:

– *Puuaineen tiheys*, jolla tarkoitetaan tuoreen tilavuusyksikön kuiva-ainesisältöä joko grammoina kuutiosenttiä (g/cm^3) tai tavallisimmin kiloina kuutiometriä kohti (kg/m^3).

– *Puun tilavuuspaino* (tarkemmin tuoretilavuuspaino), jolla tarkoitetaan tuoreen puun painoa tilavuusyksikköä kohti mittaushetkellä. Tässä tutkimuksessa puhuttaessa tilavuuspainosta tarkoitetaan, ellei toisin mainita, tuoretilavuuspainoa.

Rungossa puuaineen tiheys vaihtelee seuraavasti: Pystysuorassa suunnassa tiheys alenee tyvestä latvaan päin siirryttäessä männyllä ja koivulla, kuusella tiheys on pienimmillään rungon keskiosan kohdalla. Säteen suunnassa ti-

heys kasvaa ytimeistä pintaosiin havupuilla tiettyyn ikään saakka (HAKKILA 1966). Lisäksi on huomattava runkojen välinen tiheyden hajoita, joka HAKKILAN (1966) mukaan on meikäläisillä havupuilla 8 % ja lehtipuilla 6 % keskiarvosta. Tiheys korreloi voimakkaasti puuaineen sisältämän kesäpuumäärän kanssa. Tämä johtuu siitä, että kesäpuu on 2–3 kertaa painavampaa kuin kevätpuu. Kesäpuuprosenttiin vaikuttavat kasvuolosuhteet. Tutkimukset ovat osoittaneet, että etenkin männynllä äärevät kasvuolot tuottavat kevyempää puuta kuin keskinertaiset. Lisäksi lahon puun tiheys on pienempi kuin terveän.

Puun kosteus määritetään tavallisesti sadaneksina puun kuiva- tai tuorepainosta. Kasvilla havupuilla kosteuserot sydän- ja pintapuun välillä ovat erittäin selviä. Pintapuun on todettu olevan noin kolme kertaa kosteampaa kuin sydänpuu. Pystysuorassa suunnassa kosteus yleensä lisääntyy tyvestä latvaan siirryttäessä. Puun kosteuteen vaikuttavat lisäksi kasvupaikka ja

vuodenaika, jolla on merkitystä painomittauksessa keskimääräisiä painolukuja käytettäessä.

Kun puu kaadetaan ja valmistetaan tavara-lajeiksi, alkaa kosteudessa tapahtua muutoksia. Kuivumiseen vaikuttavat monet tekijät, mm. vuodenaika, ilmasto, varastopaikka, pölkyn pituus ja läpimitta, sekä kuorinta, Kuivumisen on todettu olevan nopeinta alkukesästä (HAKKILA 1964). Paksukaarnaisten, suuriläpimittaisten tyvipölkkyjen kuivuminen on hitaampaa kuin latvapölkkyjen. Kosteuden väheneminen pölkkyistä tapahtuu nopeimmin pölkkyjen päissä ja oksien kohdalla. Puutavaran kuorimisasteella on ratkaiseva merkitys kuivumisen nopeuteen. Samoin siihen vaikuttaa pölkyn sijainti varastopinossa.

Puun tiheys ja etenkin kosteus vaikuttavat ratkaisevasti puun tuorepainoon, lisäksi vaikuttavat kuoren vastaavat ominaisuudet. Kuusella kuoren tilavuuspaino ei kovin paljon poikkea runkokuoren tilavuuspainosta, sen sijaan männyn paksu kaarnakuori on huomattavasti kevyempää kuin runkokuoren (NYLINDER 1967).

32. Käytännön asettamat rajoitukset

Koska puun tilavuuspaino vaihtelee laajoissa rajoissa, näyttäisi vaikealta käyttää puun painoa puutavaran mittauksessa, mikäli edelleen pidetään kiintomittaa puumäärän ilmaisijana. Vertailussa on kuitenkin otettava huomioon, että kuitupuun nykyisin yleisimmät mittaustelmän, pinomittauksen, tarkkuus tulevaisuudessa pienenee, kun siirrytään silmävaraisesti katkotun, vajaakarsitun puun hankintaan entistä laajemmasta määräin. Silloin painomittaukselle avautuvat suuremmat mahdollisuudet kuin tähän mennessä.

Otantamenetelmässä keskeinen kysymys on näytteen ottaminen ja sen edustavuus. Käytännössä, ellei koekuormia voida hajoittaa, näytteenotto on mahdollista vain kuormien sivuista (puru- t. kiekkonäytteet) tai yläosasta (pölkky-näytteet). Jotta näyte olisi edustava, tulisi sen olla peräisin kosteudeltaan erilaisista pölkkyistä koko kuorman tai erän suhteessa. Siten näytteen tulee olla riittävän suuri, mutta toisaalta

on sen kokoa kustannussyistä pyrittävä rajoittamaan.

Eräs käytännön painomittauksen ongelma on tavaran laadun, raakkien, vikaisuusien ja eri puutavaralajien osuuden arviointi. Usein joudutaan samoissa kuormissa kuljettamaan eri myyjien puueriä. Mikäli luovutusmittaus suoritetaan tehtaalla painomittauksena, on eri ostoerät mitattava erikseen. Tämä ei kuitenkaan aina liene mahdollista, joten eri myyjien sekä puutavaran laadun, puulajien ja vikaisuusien osuuden arviointi on suoritettava jollakin tavalla. Se voisi perustua yksinkertaiseen, silmävaraiseen luokitukseen, jota aika ajoin kontrolloitaisiin tarkempien mittausten avulla (NYLINDER 1967). Lisäksi ovat hankaluutena kuormissa olevat jää, lumi, maa, kivet ym. vieraat aineet, joitten määrä on vähennettävä kuorman painosta. Niiden määrän on kuitenkin todettu olevan vähäisen, eikä niiden osuuden arviointi ole tuottanut ylipääsemättömiä vaikeuksia (HEMMI 1967).

4. TUTKIMUKSEN TAVOITE

Nykyisten kauppapojen mukaan kuitupuun hinta maksetaan puuerän tilavuuden ($p\text{-m}^3$ tai $k\text{-m}^3$) perusteella. Siksi tämän tutkimuksen tavoitteena on selvittää mahdollisuutta käyttää puuerän kokonaispainoa ja näytepölkkyjen tilavuuspainoa puutavaran kiintomitan määrittämisessä. Tällöin siis puuerän paino muunnetaan tilavuusyksiköksi seuraavalla menetelmällä, jota tutkimuksessa kutsutaan *tilavuuspaino-otannaksi*:

$$Y = X \cdot \frac{y}{x} \quad (\text{tai } Y = X : \frac{x}{y})$$

Y = kuorman (t. puuerän) kiintokuutioes-
timaatti, $k\text{-m}^3$

X = kuorman (t. puuerän) paino, kg

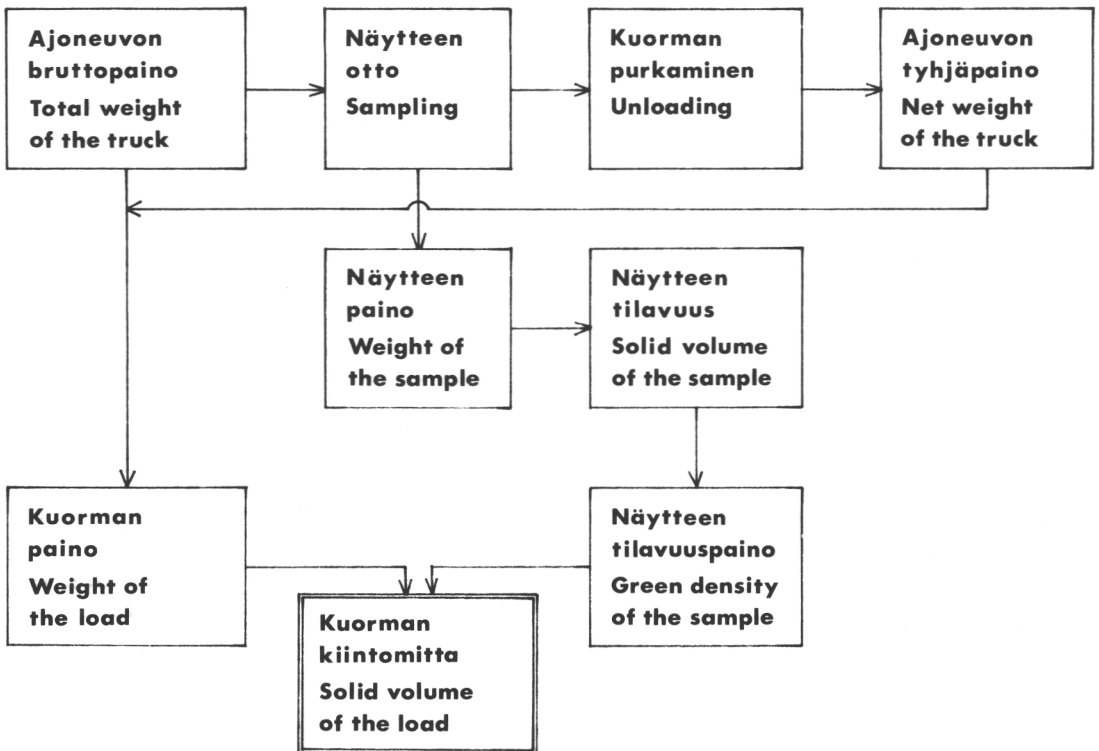
y = näytteen tilavuus, $k\text{-m}^3$

x = näytteen paino, kg

Teknisenä suorituksena menetelmä on esitetty kuvassa 1.

Menetelmässä siis koko mitattava puuera (perusjoukko) punnitaan ja erästä otetaan pölkkyinäytteitä, joiden tilavuuspaino määritetään. Näytteen koko määräytyy perusjoukon suuruudesta, tavoiteltavasta mittaustarkkuudesta ja alkioiden hajonnasta perusjoukossa (LÖNNER 1966). Siksi tässä tutkimuksessa on erityisesti kiinnitetty huomiota kuorman sisäisten sekä kuormien välisten tilavuuspainon vaihtelujen tutkimiseen. Näytteenottokohdan selvittämiseksi on pyritty tutkimaan tilavuuspainon vaihtelua kuorman eri osissa. Lisäksi on selvitetty tilavuuspainon hajontaa vaikuttavia tekijöitä.

Vaihtoehtoisena mittaamenetelmänä on tässä tutkimuksessa pidetty perinteellistä pinomittausta. Mittaustarkkuutta kuvaavia tekijöitä ovat pinotiheyden ja tilavuuspainon vaihtelut samoissa kuormissa sekä toisaalta korrelaatiot pinomitan ja kiintomitan sekä painon ja kiintomitan välillä. Menetelmien tarkkuuksia voidaan tarkastella myös vertaamalla niiden tuloksia apotusmittauksen tuloksiin.



Kuva 1. Kuorman kiintomitan määrittäminen tilavuuspaino-otannalla.

Figure 1. Determination of solid volume of the load by green density sampling.

5. TUTKIMUSAINEISTO

Tutkimusaineisto koostuu kahdesta osasta. Lappeenrannassa Oy Kaukas Ab:n tehtailla mitattiin v. 1970 kesä–heinäkuun aikana 52 kuitupuukuormaa. Tästä aineistosta 13 kuormaa mitattiin kokonaisuudessaan pölkyttäin (aineisto I a), kun taas lopuissa 39 kuormassa pölkyttäinen mittausta koski vain kuormista otettuja näytteitä. Aineiston toisen osan muodostaa Porissa Oy Rosenlew Ab:n tehtailla elo-lokakuussa v. 1970 kuivapainomittauskokeilun yhteydessä mitatut 61 kuitupuukuormaa. Mittausajankohdasta johtuen tutkimusaineisto on kosteus- ja muilta ominaisuuksiltaan vaihtelevaa, suurimaksi osaksi hankintakaupoilla ostettua puuta. Täysin kaatotuoretta puuta ei aineistoon sisällynyt. Kaikki mitatut kuormat olivat koneellisesti ajoneuvoon kuormattua, *kaksimetristä*, *normaalikarsittua* ja kuoripäällistä kuitupuuta. Lehtikuitupuu oli suurimmaksi osaksi koivua.

Joissakin kuormissa oli huomattavia määriä haapaa ja leppää.

Kuormat jaettiin silmävaraisen arvioinnin perusteella Lappeenrannan aineistossa kuivumisasteittain kolmeen ryhmään. Tuoreeksi luokiteltiin kevätkaudella 1970 tai myöhemmin hattu, jota yleensä oli ehditty varastoida muuttaman kuukauden ajan. Kuivahtaneeksi luokiteltiin ylivuotinen, väriltään tummunut, hankintavuonna 1968–69 tai aikaisemmin kaadettu puutavara. Sekakuormat sisälsivät molempia edellä mainittuja kuivumisasteita samassa kuormassa. Porin aineiston osalta kuivumisasteisiin jako tapahtui koepölkyistä otettujen näyttekiekkojen kosteuden perusteella. Tällöin katsottiin tuoreiksi kuormat, joiden kosteus oli yli 67 % kuivapainosta (yli 40 % tuorepainosta) ja kuivahtaneeksi vastaavat kuormat, joissa kosteus oli alle 67 % (taulukko 2).

Taulukko 1. Mitatut puumäärät (2 m kuitupuuta)

Table 1. Quantity of wood measured (2 m pulpwood)

Aineisto <i>Material</i>	Puulaji <i>Species</i>	Kuormia kpl <i>Loads</i>	P-m ³ <i>Piled measure</i>	Tn <i>Tons</i>	Kuorman keski- koko <i>Mean size of the load</i>		Mitattuja pölkyjä kpl <i>Measured bolts</i>
					p-m ³	tn	
I	Mänty <i>Pine</i>	50	1 171.4	567.9	23.8	11.3	10 625
	Kuusi <i>Spruce</i>	1	24.1	12.3	24.1	12.3	850
	Koivu <i>Birch</i>	1	23.6	11.0	23.6	11.0	406
II	Mänty <i>Pine</i>	33	1 014.9	478.3	30.8	14.5	1 320
	Kuusi <i>Spruce</i>	20	651.5	303.5	32.6	15.2	800
	Lehtipuu <i>Hardwood</i>	8	241.9	111.7	30.2	14.0	320
Yhteensä <i>Total</i>		113	3 127.4	1 484.7			14 321

Taulukko 2. Tutkimusaineisto kuivumisasteittain
 Table 2. Moisture content of the investigation material

Aineisto Material	Puulaji Species	Kuormia, kpl Loads		
		Tuore Green	Kuivahtanut Seasoned	Sekakuormat Mixed loads ^x
I	Mänty Pine	23	13	14
	Kuusi + Koivu Spruce + Birch	—	2	—
II	Mänty Pine	22	11	—
	Kuusi Spruce	14	6	—
	Lehtipuu Hardwood	8	—	—
Yhteensä Total		67	32	14

x Means loads with green and seasoned wood mixed

6. TUTKIMUSMENETELMÄ

Aineiston I a koekuormat valittiin subjektiivisesti siten, että pyrittiin saamaan mukautettua ja järeysasteeltaan mahdollisimman erilaisia kuormia. Aineistojen I b ja II kuormat määräytyivät siten, että mittausryhmän selviytyttyä edellisestä kuormasta, joutui tehtaalle seuraavaksi tullut kuorma automaattisesti koekuormaksi. Tutkimusaineistot I b ja II edustavat varsin hyvin mittausajankohtina tehtaille tullutta autokuljetuspuuta.

Kuorman valinnan jälkeen suoritettiin tehtaalla pinomittaus. Tämän jälkeen toinen mittausryhmä edellistä mittaus tulosta tietämättä suoritti Metsäntutkimuslaitoksen ohjeiden mukaisen pinomittauksen.

Puutavara oli kuormattu ajoneuvoon pitkitäin kahteen tai kolmeen nippuun, jotka mitattiin kukin erikseen käyttäen sentin tasaavaa luokitusta. Korkeus mitattiin nipun keskeltä molemmin puolin tasoittamalla silmävaraisesti

nipun yläreuna. Nipun leveys mitattiin auton pankolta ja nipun yläreunasta.

Jokainen koekuorma punnittiin tehtaalla autotavalla sekä kuormattuna että tyhjänä. Vaakojen lukematarkkuus oli 1 kg, mutta punnitustulokset pyöristettiin lähimpään 10 kilogrammaan.

Kuormista määritettiin silmävaraisesti kuivumisaste ja arvioitiin lahojen ja tyvipölkkyjen prosenttiosuus koko kuormasta. Mikäli tyvet tai lahot olivat keskittyneet johonkin kuormanosaan, siitä tehtiin mittauslomakkeeseen merkintä. Autokuljettajalta sekä yhtiöiden hankintapiireiltä tiedusteltiin koekuormien alkuperä- ja varastotiedot.

Tutkimusaineistossa I a koekuormien niput jaettiin silmävaraisesti kolmeen yhtä suureen vaakasuoraan osaan: nipun yläosa, nipun keskiosa ja nipun alaosa. Osapinot mitattiin erillisinä pölkyttäin kuorman osien tilavuuspainovai-

telun selvittämiseksi. Muusta aineistosta otettiin koekuormien nippujen ylösasta vain koepölkkyjä; aineistossa I b 15 % kuorman arvioidusta pölkkyluvusta ja aineistossa II joka kuormasta n. 40 pölkkyä. Näytepölkkyt otettiin kuormasta yleensä auton omalla kahmainnosturilla 20 . . . 30 pölkyn erissä.

Pölkkyjen pituus mitattiin sentin tasaavalla luokituksella ja läpimitta pituuden puolivälistä kuoren päältä millimetrin tasaavalla luokituksella. Pölkkyjen paino määriteltiin Lahden Vaaka Oy:n valmistamalla siirtopainovaa'alla. Punnitustulokset pyöristettiin lähimpään 100 grammaan. Pölkkytäisten mittausten yhteydessä mitauslomakkeelle merkittiin tyvipölkkyt, lahot, kelot, ym.

Pölkkytään mittausten jälkeen aineisto I mitattiin kokonaisuudessaan upotusmittauslaitteella (malli-Warkaus). Aineiston I b koekuor-

mat vietiin tosin upotusmittaukseen ilman kuormista otettuja pölkkynäytteitä. Tällöin kuorman lopullinen kiintomitta saatiin laskemalla yhteen näytteen pölkkytään mitattu kiintomitta sekä upotusmittauksen kiintomitta. Aineistossa II ei upotusmittausta voitu suorittaa, koska paikalla ei ollut käytettävissä upotusmittauslaitetta.

Tutkimusaineiston käsittely tapahtui suurimmaksi osaksi käsinlaskentana. Siten kuormien sisäiset ja kuormien väliset tilavuuspainot, tilavuuspainojen hajonnat sekä pinomittaustulokset on laskettu käsin. Kuorman nippujen eri osien tilavuuspainojen vertailu varianssianalyysillä, tilavuuspainoja ja hajontoja selittävien tekijöiden etsiminen valikoivalla regressioanalyysillä sekä korrelaatiolaskenta tapahtui tietokoneella. Käsittely suoritettiin time-sharing-järjestelmällä käyttäen valmiita kirjasto-ohjelmia.

Taulukko 3. Pölkkyjen väliset tilavuuspainojen variaatiokertoimet

Table 3. Coefficients of bolt-to-bolt variation of green density

Aineisto Material	Puulaji Species	Kuivumisaste Moisture content	Kuormien lukumäärä Number of loads	Variaatiokerroin Coefficient of variation	
				aritm.keski- arvo mean value	vaihteluväli range
I a	Mänty Pine	Tuore Green	7	12.8	10.9 . . . 15.1
	"	Kuivahtanut Seasoned	4	17.9	14.4 . . . 22.1
	Kuusi Spruce	Kuivahtanut Seasoned	1	12.1	—
	Koivu Birch	Kuivahtanut Seasoned	1	6.8	—
I b	Mänty Pine	Tuore Green	17	11.9	8.2 . . . 16.5
	"	Kuivahtanut Seasoned	22	16.6	10.8 . . . 21.7
II	"	Tuore Green	22	14.5	8.8 . . . 22.1
	"	Kuivahtanut Seasoned	11	17.0	12.1 . . . 26.9
	Kuusi Spruce	Tuore Green	14	11.2	6.0 . . . 17.3
	"	Kuivahtanut Seasoned	6	13.1	9.7 . . . 19.8
	Lehtipuu Hardwood	Tuore Green	8	9.1	5.9 . . . 11.4

7. TUTKIMUKSEN TULOKSET

71. Tilavuuspainon vaihtelu pölkkyjen välillä

Pölkkyttäisten paino- ja tilavuusmittausten perusteella on laskettu pölkkyjen tuoretilavuuspainon keskihajonnat kuormassa. Aineiston I a variaatiokertoimet koskevat kuorman *kaikkien pölkkyjen* tilavuuspainon hajontaa, aineiston I b ja II vastaavat luvut vain kuormista otettujen näytepölkkyjen tilavuuspainon hajontaa. Taulukossa 3 esitetyt puulajeittaiset ja kuivumisasteittaiset variaatiokertoimet ovat pölkkyttäisten mittausten kuormittaisia keskiarvoja.

Havaitaan, että aineistojen I ja II luvut ovat keskenään hyvin samansuuruisia. Männyllä on pölkkyjen tilavuuspainon variaatiokerroin keskimäärin 15 %. Vastaava luku kuusella on kes-

kimäärin vain 12 %. Kuivumisasteittain keskimääräiset tilavuuspainon variaatiokertoimet männyllä ja kuusella ovat seuraavat:

	Mänty	Kuusi
tuore puu	13 %	11 %
kuivahtanut puu	17 %	13 %

Koivulla variaatiokerroin on selvästi havupuu-lajeja pienempi.

Pölkkyttäisiä tilavuuspainon hajontoja ei aikaisemmin juuri ole tutkittu. Mainittakoon vain NISULAN (1968) havuohutpuuta koskenut selvitys, jossa pölkkyttäinen tilavuuspainon variaatiokerroin oli 13 %.

72. Tilavuuspainon vaihtelu kuormien eri osissa

Aineistossa I a jaettiin kuorman jokainen nippu kolmeen osaan (ks. sivu 10). Eri pinoihin ladotut osaniput mitattiin sitten erikseen kuorman osien tilavuuspainojen vaihtelun tutkimiseksi. Seuraavassa asetelmassa esitetään nippujen eri osien tilavuuspainot ja niiden variaatiokertoimet. Luvut ovat pölkkyttäin mittausten aritmeettisiä keskiarvoja.

	Tilavuuspaino, kg/k-m ³	Variaatiokerroin %
Nipun yläosa	724	13.7
Nipun keskiosa	728	14.1
Nipun alaosa	708	14.5

Systemaattista tuoretilavuuspainon vaihtelua nippujen eri osissa ei voida havaita. Tilavuus-

painot nippujen eri osissa ovat samaa suuruusluokkaa, ainoastaan nipun pohjaosissa on ollut hieman kevyempää puuta kuin muualla nipussa. Tämä johtunee siitä, että kuormattaessa joutuvat varastopinojen yläosat, joissa kuivuminen on ollut nopeinta, useimmiten kuorman pohjalle. Tilavuuspainojen erot eivät kuitenkaan olleet tilastollisesti merkitseviä ($F_{2,42}$ -arvo 2.43) 5 %:n riskillä. Kuormien väliset tilavuuspainoerot sen sijaan olivat erittäin merkitseviä. Näyttää siltä, että tilavuuspainon määrittämisessä kuorman päältä otettu näyte antaa luotettavan kuvan koko kuorman tilavuuspainosta. Tämä ei kuitenkaan pidä paikkaansa sellaisissa kuormissa, joissa on puuta useasta varastosta (ns. sekakuormat).

73. Tilavuuspainon vaihtelu kuormien välillä

Taulukossa 4 esitetään puulajeittain ja kuivumisasteittain kuormien keskimääräiset tuoretilavuuspainot, niiden variaatiokertoimet sekä vastaavat pinokuutiopainon tunnuksat. Aineiston I tilavuuspainot on laskettu koko kuormaa koskevana, aineiston II luvut ovat sen sijaan näytteistä laskettuja estimaatteja.

Luokittelemalla kuormat kuivumisasteisiin on tilavuuspainon vaihtelua voitu pienentää. Tilavuuspainot, kuten pinokuutiopainotkin, eroavat melkoisesti toisistaan kuivumisasteesta riippuen. Ottamalla kuivumisaste huomioon voidaan perusjoukon tilavuuspainon vaihteluita pienentää ja siten tilavuuspaino-otannan tarkkuutta lisätä.

Taulukko 4. Kuormien väliset tilavuuspainojen variaatiokertoimet
 Table 4. Coefficients of load-to-load variation of green density

Aineisto <i>Material</i>	Puulaji <i>Species</i>	Kuivumisaste <i>Moisture content</i>	Tilavuuspaino <i>Solid volume weight</i>		Pinokuutiopaino <i>Piled volume weight</i>	
			Keskiarvo, kg/k-m ³ <i>Mean value</i>	Variaatio- kerroin <i>Coefficient of variation</i>	Keskiarvo, kg/p-m ³ <i>Mean value</i>	Variaatio- kerroin <i>Coefficient of variation</i>
I	Mänty <i>Pine</i>	Tuore <i>Green</i>	754	4.8	517	5.7
	”	Kuivahtanut <i>Seasoned</i>	644	9.0	444	11.0
	”	Sekakuormat <i>Mixed loads</i>	680	4.4	469	3.5
Keskimäärin <i>Average</i>			705	8.9	485	9.3
II	Mänty <i>Pine</i>	Tuore <i>Green</i>	751	5.8	492	—
	”	Kuivahtanut <i>Seasoned</i>	656	7.4	419	—
Keskimäärin <i>Average</i>			719	8.8	470	10.8
II	Kuusi <i>Pine</i>	Tuore <i>Green</i>	752	7.5	487	—
	”	Kuivahtanut <i>Seasoned</i>	602	9.6	417	—
Keskimäärin <i>Average</i>			707	13.4	466	8.6
II	Lehtipuu <i>Hardwood</i>	Tuore <i>Green</i>	828	6.5	462	3.6

Jos mitattavat erät jaetaan esimerkiksi leimikoittain, on todennäköistä, että hajontaluvut pienenevät edellä esitetyistä, koska perusjoukko on tällöin kosteudeltaan homogeenisempaa saman kaato- ja varastointiajan sekä samanlaisten kuivumisalojen johdosta.

Kuormien välinen tuoretilavuuspainon hajonta on suurin kuusella. Tämä johtuu siitä, että kuusen kosteus, joka on selvitetty kuivapainomittaustutkimukseen liittyvänä, vaihtelee aineistossa II huomattavasti enemmän kuin männyn. Kuusi on siis tässä tapauksessa kuivumisasteiltaan huomattavasti vaihtelevampaa kuin toiset puulajit.

Kuormien väliset variaatiokertoimet ovat huomattavasti aikaisemmin esitetyjä pölkkyjen

välisiä pienempiä. Tilavuuspainon vaihtelu on yleensä pienempi kuin vastaavan pinokuutiopainon, poikkeuksen tekee kuitenkin aineisto II. Siinä pinokuutiopainon näennäisesti pienempi hajonta johtunee siitä, että pinokuutiopainot on laskettu koko kuormaa koskevien mittausten perusteella, tilavuuspainot ovat sen sijaan näytteen avulla saatuja kuorman tilavuuspainon estimaatteja.

Ruotsissa tehdyissä tutkimuksissa on VF-mittauksissa nippujen välinen tuoretilavuuspainon variaatiokerroin ollut 5.5 . . . 9.5 % (Virkesmätning . . . 1966). TUOVINEN (1970) on saanut kolmimetrisellä mäntykuitupuulla tilavuuspainon variaatiokertoimeksi 7 %.

74. Tilavuuspainon vaihteluun vaikuttavat tekijät.

Tilavuuspainon pölkkyjen välisen vaihtelun selittämiseksi suoritettiin aineistosta I valikoiva regressioanalyysi, jossa selittävinä muuttujina olivat kuorman keskimääräinen tuoretilavuuspaino, kuivusaste, kuivumisaika sekä lahojen pölkkyjen ja tyvipölkkyjen määrä. Tulokset ilmenevät seuraavasta asetelmasta.

Selittävä muuttuja	Korrelaatiokerroin	Selitysaste % varianssista
Tilavuuspaino, (kg/k-m ³)	- 0.511	26
Kuivumisaste	0.535	29
Kuivumisaika, (kk)	0.282	8
Tilavuuspaino + kuiv.aste	0.558	31
Tilavuuspaino + kuiv.aste + kuivumisaika	0.569	32

Pölkkyjen välinen tilavuuspainon vaihtelu riippuu siis kuorman keskimääräisestä tilavuuspainosta ja silmävaraisesti arvioidusta kuivumisasteesta. Kuivumisajan pituus selittää vaihtelun suuruutta huomattavasti heikoimmin. Parhaan korrelaation antoivat tilavuuspaino, kuivumisaste ja kuivumisaika yhdessä, jolloin varianssin selitysaste oli 32 %. Arvioitu tyvipölkkyjen tai lahojen pölkkyjen määrä ei selittänyt vaihtelun suuruutta. Tähän vaikuttanee arvioinnin epätarkkuus, sillä todellisuudessa mainittujen tekijöiden ja tilavuuspainon vaihtelun välillä lienee positiivinen korrelaatio.

75. Mittausmenetelmien vertailu

751. Painon mittaust

Aineiston I a perusteella voidaan vertailla samoista kuormista eri tavoin suoritettuja painon määrittäyksiä. Tulokset ovat seuraavassa asetelmassa, jossa autovaa'an tuloksia on merkitty luvulla 100.

Pölkkyttäinen punnitus	98.9
Autovaa'alla punnitus	100.0
Paino upotusmittarilla	115.9

Pölkkyttäisen ja autovaa'alla saadut punnitus-tulokset ovat melko lähellä toisiaan. Pölkkyttäinen mittauksen pienempi tulos johtuu osaksi kuoren varisemisesta mittauksen aikana sekä mittausten välillä tapahtuneesta kuivumisesta. Upotusmittauslaitteella tapahtunut painon määrittäminen on sen sijaan antanut huomattavasti suuremmat tulokset kuin autovaa'alla. Ero johtuu nippujen vettymisestä, sillä niput joutuivat olemaan ve-

dessä jopa kaksikin viikkoa ennen upotusmittausta. Warkaus-tyyppisellä upotusmittauslaitteella tapahtuva maakuljetuspainon tai tilavuuspainon määrittäminen edellyttää, että upotusmittaus tapahtuu heti nippujen veteenpanon jälkeen (vrt. LEINONEN –HEISKANEN 1970).

752. Tilavuuden mittaus

Nippujen kiintokuutio määritettiin aineistosta I a pölkyttäisen mittauksen lisäksi myös upotusmittauslaitteella. Tulosten vertailu osoittaa, että kun upotusmittauksen antama kokonaiskiintomittaus merkitään luvulla 100, saadaan pölkyttäisen keskeltämittauksen tulokseksi 94.4.

Pölkyttäisen tilavuudenmäärittämisen ja upotusmittauksen ero on yllättävän suuri. Ero johtuu siitä, ettei keskeltämittaus anna oikeata kuutiomäärää varsinkaan tyvi- ja latvapölkyille (MAKKONEN 1961, ARO ja RIKKONEN 1966). Puun runkomuodosta johtuen keskeltäkuutiointi johtaa pienempään kiintotilavuuteen kuin pätkittäinen tai upotusmittauksena tapahtuva kuutiointi. Upotusmittauksen kuutiota suurentavasti vaikuttanee nippujen vedessä ollessa puun ja etenkin kuoren paisuminen (AHONEN 1964). Mainittakoon, että Metsäntutkimuslaitoksessa tehdyissä sahatukkien mittaus- ja upotusmittauksissa keskeltämittauksen ja upotusmittauksen välinen ero on ollut samaa suuruusluokkaa (HEISKANEN 1970).

Koska pölkyttäinen näytteiden tilavuuden mittaus olisi johtanut upotusmittaukseen verrattuna systemaattiseen eroon tilavuudessa ja myös tilavuuspainossa, on aineistossa I pölkyttäin määritetyt näytteiden tilavuuspainot korjattu upotusmittausta vastaaviksi niissä tapauksissa, joissa mittausmenetelmiä on verrattu.

753. Pinomittauksen ja painomittauksen vertailu

Pinomittauksen ja painomittauksen tarkkuuden vertailuperusteena voidaan pitää sitä, kuinka hyvin nämä menetelmät kuvaavat mittauskohteen kiintomittaa. Tarkastelu on rajoitettava aineistoon I, koska vain siitä määritettiin kuormien kiintomittaa. Tällöin voidaan ensiksikin verrata toisiinsa pinotiheyden ($k\text{-m}^3/p\text{-m}^3$) ja tilavuuspainon ($\text{kg}/k\text{-m}^3$) variaatiokertoimia kuormien välillä. Pinotiheyden keskiarvo oli 0.689 ja sen variaatiokerroin 3.3 %. Muissa tutkimuksissa HEISKANEN (1968) mukaan pinotiheyden hajonta on vaihdellut tasapituksella havukuitupuulla 1.6 . . . 7.1 %:n välillä. Aikai-

semmin (s. 13) esitetty *tilavuuspainon* hajonta oli tutkimusaineistossa 8.9 %, mutta eri kuivumisasteittain melkoisesti tätä pienempi.

Rankatavaralla ja koivulla pinotiheydet vaihtelevat huomattavasti enemmän. TUOVISEN (1970) tutkimuksessa kolmimetrisen mäntykuitupuun pinotiheyden variaatiokerroin oli 6.2 %. Tällöin tosin kuorman kiintokuutio määritettiin kuorman painon ja näytepölkkyjen tilavuuspainon avulla. Vastaavalla tavalla tämän tutkimuksen aineistosta II määritetty pinotiheyden variaatiokerroin oli männynällä 6.7 % ja kuusella 6.4 %. Kiintokuution määrittämistavan vuoksi esitetyt luvut ovat todellisia pinotiheyden hajontalukuja suurempia. NISULA (1968) mukaan koivukuitupuun pinotiheyden variaatiokerroin vaihtelee 4.0 . . . 6.5 % rajoissa. Metsäntutkimuslaitoksessa suoritetuissa kuormamittaustutkimuksissa pinotiheyden variaatiokerroin *vapaanpituksella* kuitupuulla on 8 %. (LEINONEN 1970 b). Uittotehon tutkimuksissa TUOVISEN (1968) mukaan kuorellisen mäntyranگان pinotiheyden variaatiokerroin on vaihdellut välillä 7.5 . . . 10.9 %. Painoon perustuva mittausmenetelmä on vapaanpituksien kuitupuun mittauksessa tarkkuutensa puolesta täysin verrattavissa pinomittaukseen.

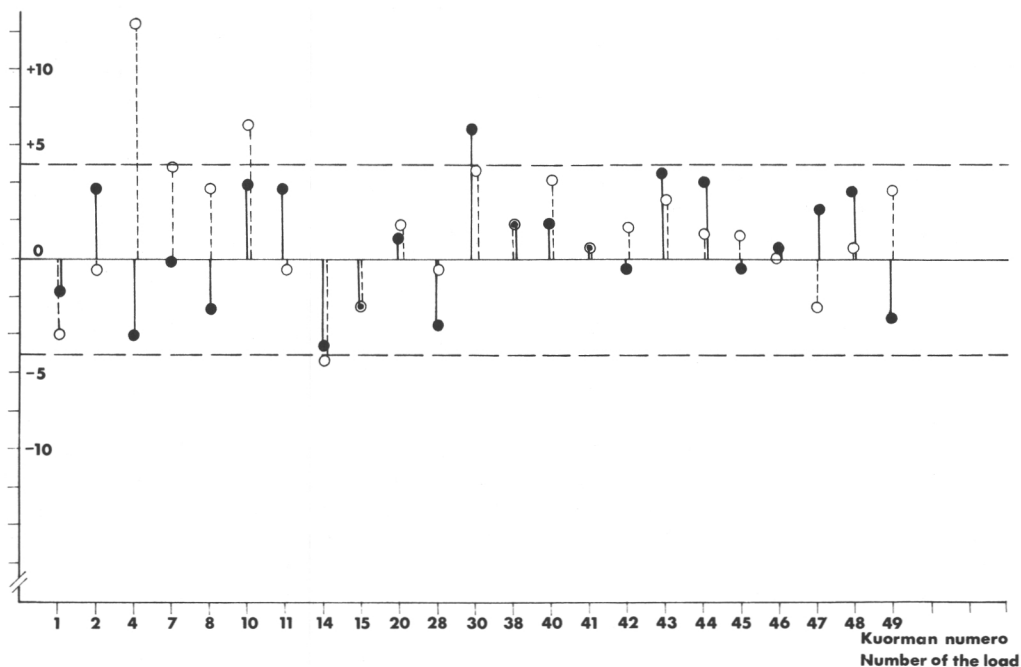
Pinotiheyden ja tilavuuspainon vaihteluiden lisäksi näiden mittausmenetelmien tarkkuutta kuvaavat mittaus tulosten *korrelaatiot* todellisen puumäärän, kiintomitan, kanssa. Seuraavassa verrataan aineistosta I kuormittaisten mittaus- ja painomittauksien perusteella laskettuja korrelaatiokertoimia (ks. myös kuvat 3 ja 4).

	Painon ja kiintomitan välinen korrelaatiokerroin
Tuore puu	0.906
Kuivahtanut puu	0.668
Sekakuormat	0.661
<hr/>	
Koko aineisto	0.703

Pinomitan ja kiintomitan välinen korrelaatio oli vastaavasti 0.866. Tuoreella puulla painon ja kiintomitan välinen korrelaatio oli kiinteämpi kuin pinomittauksen ja kiintomittauksen välinen. Ruotsalaisten tutkimusten (Virkesmätning . . . 1966) mukaan pinomitan ja kiintomitan korrelaatiokerroin vaihtelee kuitupuulla välillä 0.75 . . . 0.97, vastaavasti painon ja kiintomitan välillä 0.60 . . . 0.95 (keskiluvut 0.83 . . . 0.92). Metsäntutkimuslaitoksessa kaatotuorei-

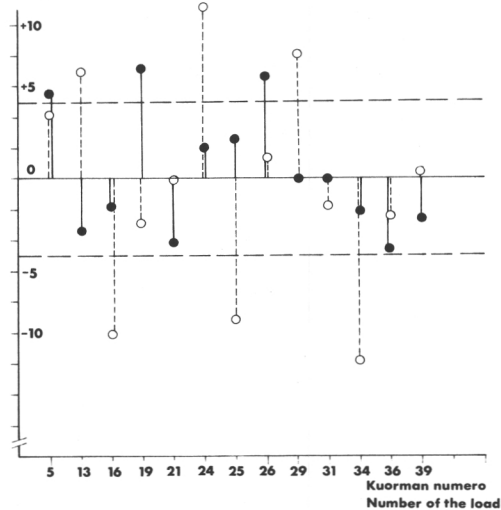
Estimaatin poikkeama
upotusmittauksesta, %
Deviation of the estimate from
the results of the immersion
method

Tuore puu
Green wood



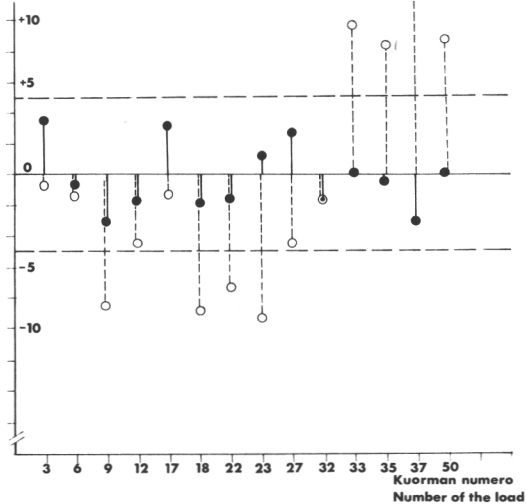
Estimaatin poikkeama
upotusmittauksesta, %
Deviation of the estimate from
the results of the immersion
method

Kuivahtanut puu
Seasoned wood



Estimaatin poikkeama
upotusmittauksesta, %
Deviation of the estimate from
the results of the immersion
method

Sekakuormat
Mixed loads



Kuva 2. Kuormittaisten mittaustulosten suhteelliset poikkeamat upotusmittauksesta.
Figure 2. Relative deviations of different measuring methods from the immersion method

- Pinomittauksen antama kiintomittaestimaatti
Estimate of solid volume based on piled measure
- Tilavuuspaino-otannan (kuormasta otettu pölkkyinäyte 5 %) antama kiintomittaestimaatti
Estimate of solid volume (bolt sample from the top of the load five per cent) based on green density samples

den mäntysahatukkien mittauksessa on saatu seuraavat korrelaatiokerroimet:

Pinomitta — kiintomitta 0.66 . . . 0.96
Paino — kiintomitta 0.90 . . . 0.98

Painon ja kiintomittan välinen korrelaatio on siis ainakin tuoreella, vapaanpituksella kuitupuulla voimakkaampi kuin pinomittan ja kiintomittan välinen.

754. Pinomittauksen ja tilavuuspaino-otantamenetelmän vertailu

Kuvassa 2 on esitetty kuormakohtaiset mitaustulokset aineistosta I eri menetelmillä erilaisille kuivumisasteille. Pinomittaus tulos on muunnettu kiintomittaksi käyttäen aineistosta laskettua pinotiheyslukua 0.69. Näytteen tilavuuspainon ja kuorman painon avulla on laskettu kuormittaiset kiintokuutioestimaatit aikaisemmin esitetyllä tavalla (ks. s. 8). Uputusmittauksen antamaa kuutiomäärää on merkitty 0-tasolla, estimaattien poikkeamat siitä on laskettu prosentteina. Kuvioihin on lisäksi merkitty 5 % virherajat. Jos mittausvirhe on 5 %, vastaa se absoluuttisessa puumäärässä kuormaa kohden 1.0 . . . 1.5 p-m³.

Tuoreella puulla on tilavuuspaino-otanta antanut lähes yhtä tarkkoja tuloksia kuin pinomittaus. Kuivahtaneella puulla ja etenkin sekakuormilla painoon perustuva mittaus on sen sijaan ollut epätarkempi kuin pinomittaus kuormakohtaisissa kuutiomäärissä. Täten tilavuuspaino-otantaa ei viimeksi mainitussa tapauksessa voita-

ne suositella *kuormakohtaisen* kuution määrittämisen menetelmäksi, ellei tyydytä epätarkkoihin tuloksiin. Koko aineistolla (I) korrelaatiokerroin tilavuuspaino-otannalla saadun estimaatin ja upotusmittaustuloksen välillä oli 0.80. Vastaava korrelaatiokerroin pinomittaan perustuvan kiintokuutioestimaatin ja upotusmittaustuloksen välillä oli 0.93.

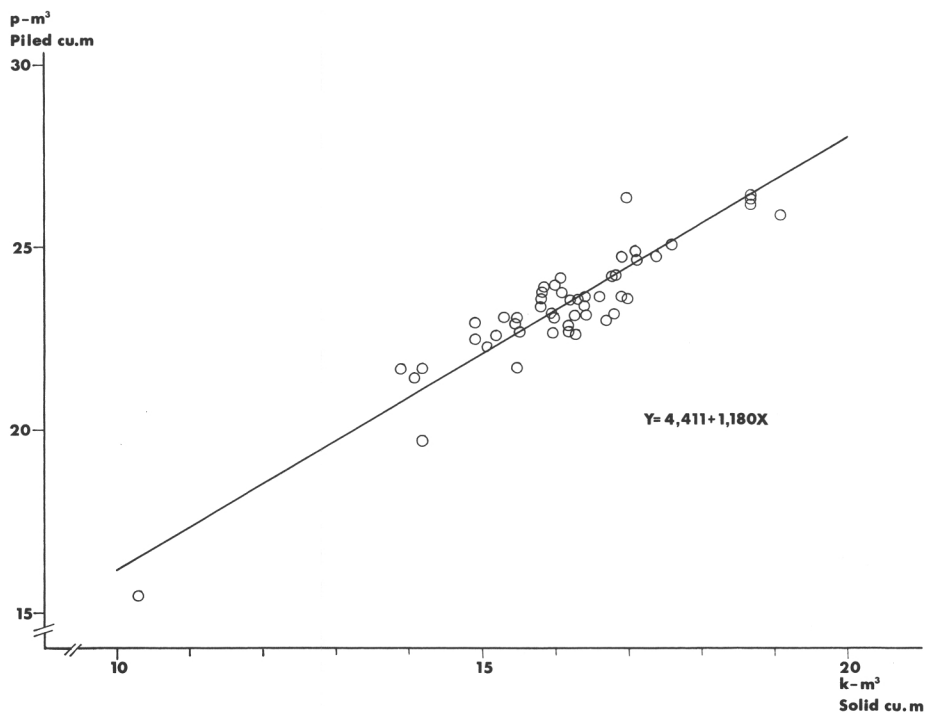
Suuremmille kuormaryhmille virheet sen sijaan tasoittuvat kuten taulukosta 5 havaitaan. Eri näytekuormamäärillä saatuja kiintokuutioestimaatteja on siinä verrattu upotusmittauksen tuloksiin vastaavista kuormista. Estimaatit on laskettu siten, että kuormaryhmän paino on jaettu näytekuormien pölkkynäytteiden tilavuuspainojen keskiarvolla (pölkkynäyte 5 %). Näytekuormat on valittu sekä systemaattisesti että satunnaislukujen avulla. Esitetyt luvut ovat eri tapauksissa saatujen kiintomittaestimaattien ja upotusmittauksen välisten prosenttierojen aritmeettisia keskiarvoja.

Viiden prosentin näyte joka kuormasta on johtanut tarkkoihin tuloksiin. Näytekuormamäärän pienentäminen on huonontanut jonkin verran mittaustarkkuutta. Suurten kuormaryhmien kohdalla näytteenotto jokaisesta mitattavasta kuormasta ei ole tarpeellista ellei esiinny tarvetta kuormakohtaisten kuutiomäärien selvittämiseen. Keskimääräisten tilavuuspainolukujen käyttö kuorman kiintomittan määrittämisessä johtaa huomattaviin kuormakohtaisiin virheisiin, ainakin jos on kysymyksessä eri leimikoista peräisin oleva, kosteusominaisuuksiltaan vaihteleva puutavara.

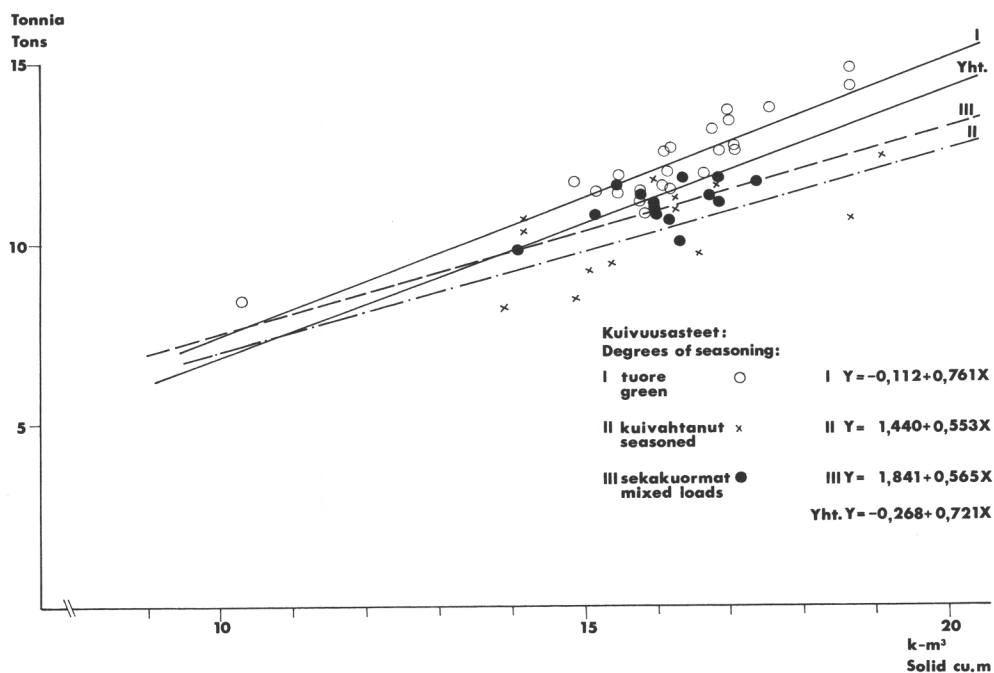
Taulukko 5. Kiintomittaestimaattien keskimääräiset poikkeamat upotusmittauksen tuloksista eri suuruisilla näytekuormamäärillä.

Table 5. Average deviations of solid volume estimates from the results of the immersion method with different numbers of sampling loads.

Kuivumisaste Moisture content	Tilavuuspainonäyte Green density sample		
	Joka kuormasta From every load	Joka 3:sta kuormasta From every 3:rd load	Joka 5:stä kuormasta From every 5:th load
Keskimääräinen mittaero, % Average measurement error, per cent			
Tuore Green	1.5	2.3	1.5
Kuivahtanut Seasoned	0.7	3.7	3.4
Sekakuormat Mixed loads	1.0	2.8	3.8



Kuva 3. Kuorman pinomitan ja kiintomitan välinen riippuvuus.
 Figure 3. Correlation between piled volume and solid volume of the load



Kuva 4. Kuorman painon ja kiintomitan välinen riippuvuus
 Figure 4. Correlation between the weight and solid volume of the load

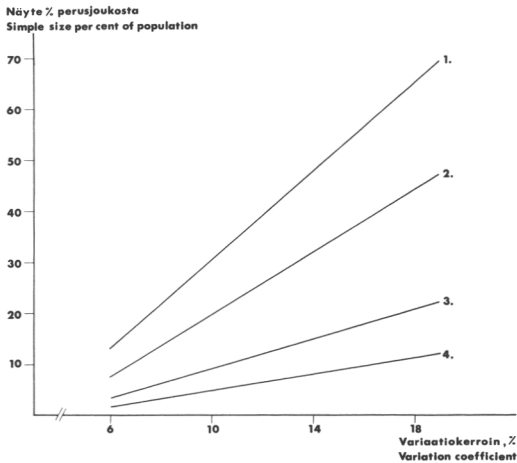
76. Näytteen koon määrittäminen

Aikaisemmin jo todettiin, että näytteen suuruus riippuu olennaisesti *perusjoukon koosta*, perusjoukon *alkioiden hajonnasta* sekä *tarkkuusvaatimuksesta*. Näytteen koko voidaan laskea seuraavalla kaavalla (LÖNNER 1966).

$$n = \frac{Nt^2 \cdot S^2}{Nd^2 + t^2S^2}$$

jossa N = populaation alkioiden lukumäärä
 t = todennäköisyytensä vastaava t-jakautuman arvo (saadaan taulukosta)
 S = keskihajonta (variaatiokerroin)
 $d = \frac{\text{luotettavuusväli}}{2}$

Kuvassa 5 on esitetty näytteen suuruus hajonnan ja perusjoukon koon funktiona.



Kuva 5. Näytteen suuruus perusjoukon koon ja alkioiden välisen hajonnan funktiona.

Figure 5. Sample size as a function of population and as a function of the standard deviation between units.

Tilavuuspaino-otantamenetelmässä kuorman päältä tapahtuva näytteenotto vastannee otannan vaatimuksia, mikäli kuormausvaiheessa kaikilla pölkyillä on yhtä suuret mahdollisuudet joutua kuorman yläosiin ja mikäli näytteenotto on täysin objektiivinen. Mainitun kaavan mukaan laskien *kuormasta* otettavan näytteen suuruus esimerkiksi kaksimetrisellä mäntykuitupuulla olisi 5 %:n riskillä:

	± 3 %:n tarkkuusväli	± 5 %:n tarkkuusväli
tuore puu	n. 70 pölkyä	n. 25 pölkyä
kuivahtanut puu	n. 110 pölkyä	n. 50 pölkyä

Tällöin siis kuorman tilavuuspainon määrittämisessä virhe pysyy mainittujen tarkkuusrajojen sisällä 95:ssä tapauksessa 100:sta. Tilavuuspainon virhe vaikuttaa välillisesti kuorman kiinto-kuutioestimaattiin. Esimerkiksi ± 3 %:n virhe vaikuttaa tilavuuspainoon n. ± 20 kg/k-m³. Keskiarvoisessa kuormassa tämä merkitsee virheen pysymistä ± 0.6 k-m³:n sisällä oikeasta mittaus tuloksesta 95 prosentissa tapauksista.

Mikäli ei tavoitella kuormakohtaisia tuloksia, ei näytteenotto jokaisesta mitattavasta kuormasta ole tarpeellista. Kun tiedetään kuormien välinen tilavuuspainon hajonta, perusjoukon kuormien lukumäärä sekä tarkkuusvaatimus, voidaan *näytekuormamäärä* laskea käyttäen esitettyä kaavaa. Näytemääristä on saatavissa tietoja LÖNNERIN (1966) julkaisusta "Stickprovmetoder".

Perusjoukko – Population	Alkioita – Units
1.	100
2.	200
3.	500
4.	1000

8. TILAVUUSPAINO-OTANNAN KEHITTÄMINEN

Näyttää siltä, että tilavuuspaino-otanta on kehittämiskelpoinen etenkin silloin, kun kuormakohtaisten mittaustulosten tarkkuusvaati-

mukset eivät ole kovin suuret. Suuremmilla kuormaryhmillä ja rankatavaralla menetelmä on tarkkuutensa puolesta täysin kilpailukykyinen

pinomittauksen kanssa. Tutkimustuloksia tarkasteltaessa on huomattava tutkimusaineisto ja -ajankohta: kesällä mitattu normaalikarsittu, tasapituinen kuitupuu. Siirtyminen uusiin tavaralajeihin parantaa tilavuuspaino-otantamenetelmän edullisuutta. Tällöin painoon perustuvan mittausmenetelmän tarkkuus ei huonone, vaan päinvastoin paranee, koska vapaanpituinen kuitupuu saapuu tehtaille tuoreempuna ja siten kosteudeltaan tasaisempuna kuin tasapituinen kuitupuu. Tilavuuspaino-otanta mahdollistaa mittauksen keskittämisen tehtaalle, tarjoaa otantamenetelmien etuja, koneellistamismahdollisuudet sekä hyvät työskentelyolot.

Menetelmä vaatii mittauspaikalle kuormien punnituksessa ja näytteen tilavuuspainon määrittämisessä tarvittavat välineet. Ensin mainittu voi tapahtua ns. ajoneuvovaa'alla tai nosturivaa'alla. Ajoneuvovaa'asta tuntuu menetelmään parhaiten sopivalta. Tällöin vaa'an sillan olisi oltava 18 . . . 20 metriä pitkä, sillä useassa vaiheessa tapahtuva punnitus on hidasta ja mahdollisesti epätarkkaa. Ajoneuvovaa'an maksimitaakan olisi oltava 40 . . . 60 tonnia. Nosturivaa'aa käytettäessä kuorman paino saadaan yhdellä mittauksella. Tällöin kuitenkin hankaluutena on näytteenotto, jonka olisi tapahduttava punnituksen jälkeen, esimerkiksi tehtaan puunkäsittelylaitoksen hajoituspöydällä tai sitten ennen kuorman ajoneuvosta nostamista.

Näytekuormien määrittämisessä ovat voimassa samat yleiset periaatteet kuin kaikissa otantamenetelmissä. Valinnan on tapahduttava täysin objektiivisesti. Tärkeintä on se, ettei ajoneuvon kuljettajalla *kuormausvaiheessa* ole tietoa kuorman joutumisesta näytekuormaksi. Mikäli on aihetta epäillä vilpillistä menettelyä, on mittamiehillä oltava oikeus kuorman purkamiseen ja näytteenottoon mistä tahansa kuorman osasta.

Näytteenotto on käytännössä suoritettava erityisellä sitä varten suunnitellulla hydraulikahmaimella. Se on mahdollista tehtaalla mm. seuraavissa vaiheissa:

1. kuorman punnituksen yhteydessä mittausasemalla
2. erillisenä toimituksena kuorman punnituksen jälkeen ennen purkamista

3. kuorman purkamisen yhteydessä

4. kuorman purkamisen jälkeen tehtaan hajoituspöydällä (etuna näytteenottomahdollisuus mistä kuorman osasta tahansa)

Pölkkynäytteen tilavuuspainon määrittämisessä on olemassa useita mahdollisuuksia (vrt. NISULA 1967). Pölkkyttäminen mittaus ei käytännössä voine tulla kysymykseen. Parhailta vaihtoehdoilta tuntuvat erilaiset ksylometriratkaisut. Näytepölkkyjen paino voidaan määrittää esimerkiksi hydraulikahmaimen sijoitetulla vaa'alla taikka ksylometrillä. Tällöin pölkkyjen kelluessa vapaasti vedessä ne ovat syrjäyttäneet painonsa suuruisen vesimäärän. Näytepölkkyjen tilavuus voidaan määrittää vastaavasti mittaamalla syrjäytetty vesimäärä ksylometriin upottamalla tai noste hydrostaattisella punnituksella. Tilavuus voidaan myös teoriassa määrittää niputtamalla näytepölkkyerät perusjoukoittain ja mittaamalla kiintokuutio upotusmittauslaitteella.

Tilavuuspaino-otanta on tehdasmittausmenetelmä. Uittopuun mittaaminen sitä käyttäen saattaa olla vaikeata ja epätarkoituksenmukaista. Koska menetelmä vaatii kiinteät ja verraten kalliit välineet, on mitattavien puumäärien oltava suuria, jotta yksikkökustannukset eivät nousisi liian korkeiksi. Parhaiten tilavuuspaino-otanta soveltuu tehtaan vastaanottomittaukseen, mutta sitä voidaan käyttää myös luovutusmittauksessa ja kaukokuljetusmaksujen perusteena, mikäli osapuolet sen hyväksyvät. Työmittaukseksi se sopii vain poikkeustapauksissa, sillä eri hakkuumiesten valmistamia tai eri urakoitsijoiden metsävaiheessa kuljettamia puita ei yleensä voida pitää erillään tehtaalle saakka. Suurin hyöty tämän mittausmenetelmän käytämisellä on saavutettavissa siinä mielessä, että se antaa mahdollisuuden korjuumenetelmän vapaaseen valintaan mittauksen sitä estämättä.

Tilavuuspaino-otantaa käytäntöön sovellettaessa on kuitenkin tehdaskohtaisesti selvitettävä mitattavaksi aiotun puutavaralajin tilavuuspaino-otantaan vaikuttavat ominaisuudet sekä menetelmän käyttötarve. Esillä oleva tutkimus osoittaa tarkkuusraajat, joiden sisällä ilmeisesti aina liikutaan.

KIRJALLISUUSLUETTELO

- AHONEN LEO. 1964. Menetelmä nipun puutilavuuden mittaamiseksi. Pienpuualan toimikunnan julkaisu 161.
- ARO PAAVÓ ja RIKKONEN PENTTI. 1966. Havusahatukkien latvamuotoluvut. MTJ 61.7.
- BRAATHE PEDER ja OKSTAD TORBJØRN. 1964. Omsetning av trevirke basert på veiing og tørrstoffbestemmelser. Meddelelser fra Det norske Skogforsøksvesen, Nr 72.
- HAKKILA PENTTI. 1964. Kesäaikana valmistettujen paperipuitten ja sahatukkien kuivuminen ja varastoviat. MTJ 58.4.
- HAKKILA PENTTI. 1966. Investigations on the basic density of Finnish pine, spruce and birch wood. MTJ 61.5.
- HAKKILA PENTTI. 1970. Puutavaran painomittauksen tavoitteenasettelu. Suomen Puutalous 1970:3.
- HEISKANEN VEIJO. 1968. Pinomittauksen ja teknillisen kiintomittauksen tarkkuudesta. Metsätaloudellinen aikakauslehti 1968:11.
- HEISKANEN VEIJO. 1970. Sahatukkien mittaus- ja hinnoittelututkimus. Monisteet I ja VI.
- HEMMI LAURI. 1967. Havaintoja Ruotsissa käyttöön otetuista raakapuun mittaussuunnitelmistä. Uittotehon tiedotus 236.
- LEINONEN ESKO. 1970 a. Paino puun arvon kuvaajaksi. Metsälehti 44/1970.
- LEINONEN ESKO. 1970 b. Ennakkotietoja muuntolukututkimuksista. Moniste.
- LEINONEN ESKO ja HEISKANEN VEIJO. 1970. Sahatukkien mittaus- ja hinnoittelututkimus. Moniste IV.
- LEINONEN ESKO ja RIKKONEN PENTTI. 1969. Puutavaran kuorma- ja kuormaotantamittaus. Silva Fennica Vol. 3, 1969, N:o 4, ss. 215–225.
- LÖNNER GÖRAN. 1966. Stickprovsmetoder. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, handledning nr. 1.
- MAKKONEN OLLI. 1961. Pinotiheysmittareita käytettäessä huomioon otettavia seikkoja. Metsätehon tiedotus 182.
- NISULA PENTTI. 1960. Paino pinotavaran ja hakkeen mittana. Pienpuualan toimikunnan julkaisu 114.
- NISULA PENTTI. 1967. Käytäntöön soveltuvia menetelmiä puutavaran kiintokuutiomäärän selvittämiseksi tilavuuspainon avulla. MTJ 64.6. Helsinki.
- NISULA PENTTI. 1968. Painomittauksesta. Metsätaloudellinen aikakauslehti 1968:11.
- NYLINDER PER. 1958. Orienterande studier över viktvariationer hos helbarkad granmassaved. Kungl. Skogshögskolan-Institutionen för virkeslära, Uppsatser Nr. 15.
- NYLINDER PER. 1967. Weight measurement of pulpwood. Kungl. Skogshögskolan-Institutionen för virkeslära. Rapport nr. R 57.
- PULLINEN KALEVI. 1970. Tilavuuspainotanta mäntykuitupuun mittaauksessa. Metsäteknologian laudaturtyö. Moniste.
- Puutavaran mittaussääntö 1969. Suomen asetuksenkokoelma 163/1969.
- TUOVINEN ARNO. 1968. Puutavaran painomittauksesta. Metsätehon katsaus 1968:5.
- TUOVINEN ARNO. 1970. Tutkimus mäntykuitupuun painomittauksesta. Metsätehon tiedotus 295.
- Virkesmätning genom stickprov. 1967. Virkesmättningsrådet. Stockholm.
- MTJ = Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja – Communicationes Instituti Forestalis Fenniae

- No 83 Ole Oskarsson: Pluspuiden fenotyypissä valinnassa sovellettuja valinnan asteita. Selection degrees used in the phenotypic selection of plus trees. 1,50
- No 84 Kari Keipi ja Otto Kekkonen: Calculations concerning the profitability of forest fertilization. Laskelmia metsän lannoituksen edullisuudesta. 2,—
- No 85 S.—E. Appelroth — Pertti Harstela: Tutkimuksia metsänviljelytyöstä I. Kourukuokka, kenttälapio, taimivakka, taimilaukku sekä istutuskoneet Heger ja LMD-1 istutettaessa kuusta peltoon. Studies on afforestation work I. The use of semi-circular hoe, the field spade, plant basket, plant bag and the Heger and LMD-1 tree planters in planting spruce in fields. 3,—
- No 86 Pertti Veckman: Metsäalan toimihenkilöiden koulutustarve 1970-luvulla. Educational requirements of professional forestry staff in the 1970s. 4,—
- No 87 Michael Jones and David Cope: Economics Research in the Finnish Forest Research Institute, 1969—1974. 4,—
- No 88 Seppo Ervasti, Lauri Heikinheimo, Kullervo Kuusela ja Veikko O. Mäkinen: Forestry and forest industry production alternatives in Finland, 1970—2015. 6,—
- No 89 Risto Sarvas: Establishment and registration of seed orchards. 2,—
- No 90 Terho Huttunen: Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase vuosina 1968—70. Wood consumption, total drain and forest balance in Finland in 1968—70. 5,—
- No 91 Pertti Harstela ja Teemu Ruoste: Kokonaisten puiden esijuonto kaksirumpuvintturilla käytävä- ja riviharvennuksessa. Laitteiden ja menetelmien kehittelyä sekä tuotoskokeita. Preliminary full-tree skidding by two-drum winch in strip and row thinning. 2,50
- No 92 Pentti Hakkila ja Pentti Rikkinen: Kuusitukit puumassan raaka-aineena. Spruce saw logs as raw material of pulp. 1,50
- No 93 Kari Löyttyniemi: Havupunkin ja kuusen neulaspunkin torjunta. Control of mites *Oligonychus ununguis* and *Nalepella haarlovi* var. *piceae-abietis*. 2,50
- No 94 Paavo Tiihonen: Puutavaralajitaulukot 5. Koivun uudet paperipuutaulukot. Sortimentafeln 5. Neue Papierholztafeln für Birke. 2,50
- No 95 Jorma Rajala: Nykymetsiköiden kasvuprosentti Suomen eteläpuoliskossa vuosina 1964—68. 2,50
- No 96 Metsätilastollinen vuosikirja 1969. Yearbook of forest statistics 1969. 8,—
- No 97 Juhani Numminen: Short-term forecasting of the total drain from Finland's forests. Suomen metsien kokonaispoistuman lyhytjaksainen ennustaminen. 1,50
- No 98 Juhani Nousiainen, Jukka Sorsa ja Paavo Tiihonen: Mänty- ja kuusitukkipuiden kuutiomismenetelmä. Eine Methode zur Massenermittlung von Kiefern- und Fichtenblochholz. 4,—
- 1971 No 99 Yrjö Vuokila: Harvennusmallit luontaisesti syntyneille männiköille ja kuusikoille. Gallringsmallar för icke planterade tall- och granbestånd i Finland. Thinning models for natural pine and spruce stands in Finland. 2,—
- No 100 Esko Leinonen ja Kalevi Pullinen: Tilavuuspaino-otanta kuitupuun mittauksessa. Green density sampling in pulpwood scaling. 2,—
- No 101 IUFRO, Section 31, Working Group 4: Forecasting in forestry and timber economy. 5,—

Myynti — Available for sale at: Valtion painatuskeskus, Annankatu 44, Helsinki 10, p. 645 121
Merkintä ODC tarkoittaa metsäkirjallisuuden kansainvälistä Oxford-luokitusjärjestelmää

