METSÄTEHON TIEDOTUS
METSÄTEHO REPORT

403

Monitoimikoneiden yleisimpien puunmittauslaitteiden tarkkuus

ACCURACY OF THE MOST COMMON MEASUREMENT DEVICES ON MULTI-PURPOSE LOGGING MACHINES

MARKKU HALINEN

HELSINKI 1990

Metsätehon tiedotus - *Metsäteho Report* 403

M E T S Ä T E H O

Suomen Metsäteollisuuden Keskusliitto ry:n metsätyöntutkimusosasto
Forest Work Study Section of the Central Association of Finnish Forest Industries

MONITOIMIKONEIDEN YLEISIMPIEN PUUNMITTAUSLAITTEIDEN TARKKUUS

Accuracy of the Most Common Measurement Devices on Multi-purpose Logging Machines

Markku Halinen

METSÄTEHO, PL 194 (Fabianinkatu 9 B), 00131 HELSINKI

Painovalmiste Ky, Helsinki, 1990

ISBN 951-673-117-1
ISSN 0356-7257

SISÄLLYS
Contents

	Sivu *Page*
TIIVISTELMÄ	4
1 JOHDANTO	5
2 TUTKIMUSMENETELMÄ JA -AINEISTO	5
3 MITTALAITTEISSA SOVELLETUT MITTAUSMENETELMÄT	6
4 TULOKSET	6
4.1 Pätkän pituuden vaikutus tilavuuteen pätkittäinmittauksessa	6
4.2 Mittausmenetelmien ja niiden sovellusten vaikutus tilavuuteen	7
4.3 Eri mittalaitteiden tarkkuus tilavuuden mittauksessa	7
4.4 Eri mittalaitteiden tarkkuus pituuden ja läpimitan mittauksessa	10
4.5 Tukkien apteerauksen tarkkuus	11
5 TULOSTEN TARKASTELU	12
KIRJALLISUUTTA - *References*	14
Summary	15
LIITE	16

TIIVISTELMÄ

Monitoimikoneiden mittalaitteissa käytettävät mittaussovellukset eroavat merkittävästi toisistaan varsinkin kuitupuun tilavuuden mittauksessa. Erot on otettava huomioon, kun mittaustuloksia tarkastetaan.

*Tutkimuksen 25 monitoimikoneesta 16 koneen mittaustulos poikkesi enintään 4 % kokonaistilavuudesta, joka oli mitattu vastaavalla mittausmenetelmällä tarkastusmittauksessa. Tarkimpia olivat kaksioteharvestereihin**) *asennetut mittalaitteet. Mittaustarkkuuteen vaikuttaa kuitenkin merkittävästi myös koneen kuljettajan ammattitaito.*

Sekä tukkien että kuitupuun tilavuuden mittauksessa 11 koneen mittaustulos poikkesi enintään 4 % tarkastusmittauksen tuloksesta.

Tukkien apteerauksen tarkkuus vaihteli huomattavasti koneittain. Katkontatarkkuus oli konemerkeittäin keskimäärin samanlainen kuin aiemmissakin Metsätehon selvityksissä. Noin puolet koneista ei ollut valmistanut lainkaan liian ohuita tukkeja. Muilla koneilla liian ohuiden tukkien osuus oli keskimäärin 12.1 %.

Asiasanat: Puutavaran mittaus, tarkkuus
Koneellinen hakkuu, mittalaitteet

*) Kaksioteharvesteri: kaatolaite kuormaimessa, karsinta- ja katkontalaite alustakoneessa

Yksioteharvesteri: koko käsittelylaite kuormaimessa = kuormainharvesteri

1 JOHDANTO

Lähes kaikki suomalaiset monitoimikoneiden valmistajat ovat kehittäneet koneisiinsa omat puunmittauslaitteet. Laaja kehitystyö onkin ehkä nopeuttanut mittalaitteiden tekniikan ja tarkkuuden paranemista, mutta samalla se on johtanut eroihin mittauksessa ja tulosten laskennassa. Kun tarkkoja, yhtenäisiä ohjeita ei ole ollut, laitteiden valmistajat ovat itse joutuneet ratkaisemaan yksityiskohdat. Lisäksi eri laitteiden tekninen taso ja tarkkuus vaihtelee edelleen suuresti.

Käytännössä mittalaitteiden ja mittaustuloksen tarkkuuteen vaikuttaa myös koneen kuljettajan ammattitaito sekä mittalaitteita huollettaessa että käytettäessä.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää yleisimpien monitoimikoneiden mittalaitteiden keskimääräinen tarkkuus, kun laitteiden käytöstä vastaavat niiden kuljettajat. Samalla verrattiin eri mittalaitteissa sovellettavia mittausmenetelmiä sekä pyrittiin saamaan vastauksia mittauksen tarkastukseen liittyviin kysymyksiin.

2 TUTKIMUSMENETELMÄ JA -AINEISTO

Tutkimuksessa verrattiin monitoimikoneiden mittalaitteilla mitattua puutavaran tilavuutta samalla mittausmenetelmällä hakkuun jälkeen mitattuun tilavuuteen.

Tutkimuskohteiksi valittiin yleisimpiä, uusilla mittalaitteilla varustettuja monitoimikoneita. Lisäksi koneet valittiin niin, että niiden kuljettajat olivat kokeneita ja mittalaitteiden käyttöön tottuneita. Kaikkiaan tutkimuksessa oli mukana 25 monitoimikonetta, joista 5 oli kaksioteharvestereita ja loput yksioteharvestereita. Valtaosa koneista työskenteli maan eteläpuoliskossa. Pohjoisimmat tutkimustyömaat olivat Oulun läänin eteläosassa.

Aineisto kerättiin kevättalvella 1989 helmikuusta huhtikuuhun, jolloin sää oli poikkeuksellisen lämmin.

Ennen tutkimuksen alkua kunkin koneen kuljettaja kalibroi mittalaitteen koneenvalmistajan ohjeiden mukaan. Tutkimusaineisto kerättiin koneittain useassa erässä niin, että voitiin tarkastella mittalaitteen mittaustuloksen ja tarkastusmittauksen välisen mahdollisen eron vaihtelua tarkastettavan erän koon suhteen. Kaikkiaan koneittain mitattiin 8.8 - 63.8 m^3 puutavaraa (noin 100 runkoa).

Mittalaitteissa käytettävien mittausmenetelmien ja -sovellusten vertaamiseksi 8 monitoimikoneen valmistaman puutavaran tilavuus mitattiin tarkastuksessa paitsi koneen omalla mittausmenetelmällä myös kaikilla muilla, tutkimuksessa mukana olleissa mittalaitteissa sovelletuilla mittausmenetelmillä. Mittausmenetelmien ja -sovellusten vertailua varten puutavarakappaleiden pituus ja läpimitat mitattiin mittanauhalla ja -saksilla.

Eräät monitoimikoneiden mittalaitteet mittaavat puutavaran tilavuuden 10 - 16 cm:n pätkissä, jolloin mittauksen tarkastaminen täysin samalla menetelmällä on erittäin työlästä. Tarkastusmittauksen helpottamiseksi tutkittiin pätkän pituuden vaikutusta mittaustulokseen ja sitä kautta mahdollisuutta mitata puutavaran tilavuus tarkastuksessa pitemmissä kuin mittalaitteen mittaamissa pätkissä. Kymmeneltä koneelta tulostettiin 6 - 18 rungon (1.553 - 7.462 m^3) läpimitat noin 16 cm:n välein kuitupuun minimiläpimittaan saakka. Läpimittojen perusteella muodostettiin runkokäyrät, joista määritettiin rungon läpimitat tyvestä alkaen 16:n, 50:n, 100:n, 200:n, 300:n, 500:n ja 1 000 cm:n välein. Läpimittojen ja mittausvälin pituuden perusteella laskettiin edelleen runkojen käyttöosan kokonaistilavuus koneittain käyttäen katkaistun kartion (mittausväli 16 cm) ja lieriön (mittausväli yli 16 cm) kaavaa. Eripituisissa pätkissä laskettuja tilavuuksia verrattiin 16 cm:n pätkissä laskettuun tilavuuteen, jota pidettiin todellisena tilavuutena.

Tutkimuksessa tarkasteltiin myös perusmittausten - pituuden ja läpimitan mittauksen - tarkkuutta. Koneittain 100 - 200 puutavarakappaleen pituus ja läpimitta kirjat-

tiin mittalaitteen mittausten mukaan joko laitteen näytöstä tai tulosteelta. Hakkuun jälkeen samat puutavarakappaleet mitattiin mittanauhalla ja -saksilla.

Lopuksi selvitettiin tukkien apteerauksen tarkkuutta. Sitä varten mitattiin koneittain noin 100 tukin pituus ja latvaläpimitta, ja niitä verrattiin leimikossa noudatettuihin tukkien ohjepituuksiin ja minimilatvaläpimittoihin. Aineisto kerättiin erikseen tilavuuden mittauksen jälkeen, joten siihen sisältyneet tukit eivät olleet mukana, kun tutkittiin tilavuuden mittauksen ja perusmittausten tarkkuutta. Koska osa koneista työskenteli sellaisissa leimikoissa, joissa tukkeja kertyi vain vähän, apteeraustarkkuusaineistoa saatiin vain 21 koneesta.

3 MITTALAITTEISSA SOVELLETUT MITTAUSMENETELMÄT

Mittalaitteissa käytettiin yleisimpiä monitoimikoneiden mittalaitteissa sovellettavia mittausmenetelmiä ja niiden sovelluksia (liite, s. 16). Tutkimuksen jälkeen MD-2-mittalaitteessa sovellettuja mittausmenetelmiä on alettu muuttaa niin, että ne olisivat samankaltaisia kuin Kajaani 1024- ja Marttiini-mittalaitteissa.

Lokomatic 90- ja Dapt 520 -mittalaitteiden mittaama puutavara mitattiin tarkastusmittauksessa 1 m:n pätkissä. Tilavuus laskettiin keskusläpimitan ja pituuden perusteella lieriön kaavalla. Viimeisen, alle 1 m:n pituisen pätkän tilavuus laskettiin pätkän keskusläpimitan ja pituuden perusteella.

Kaikki tutkimuksen mittalaitteet mittaavat puutavaran pituuden erillisellä pituusmittarullalla. Läpimitan ne mittaavat joko syöttörullien, karsintaterien tai syöttötelien asennon avulla (liite, s. 16). Useimmat laitteet mittaavat läpimitan yhdessä suunnassa. Kahdessa suunnassa läpimitta saadaan mitatuksi syöttötelien asennon avulla.

4 TULOKSET

4.1 Pätkän pituuden vaikutus tilavuuteen pätkittäinmittauksessa

Pätkittäinmittauksessa pätkän pituuden vaikutus koneittain laskettuun koepuiden kokonaistilavuuteen oli erittäin pieni. Merkittäviä eroja 16 cm:n pätkissä mitattuun tilavuuteen tuli vasta silloin, kun pätkän pituus oli vähintään 500 cm (taulukko). Rungoittain erot olivat tietenkin suuremmat.

TAULUKKO Pätkän pituuden vaikutus pätkittäin lieriön kaavalla leimikoittain laskettuun koepuiden suhteelliseen kokonaistilavuuteen, kun 16 cm:n pätkissä katkaistun kartion kaavalla laskettu tilavuus on 100

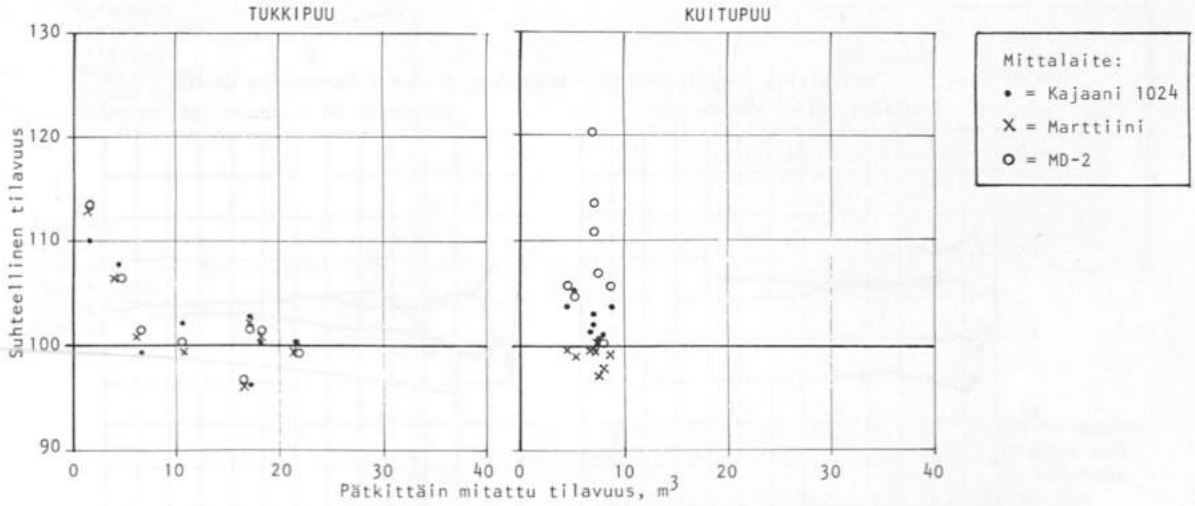
Pätkän pituus, cm	Keskimääräinen suhteellinen tilavuus	Vaihteluväli leimikoittain
50	100.0	100.0 - 100.0
100	100.0	99.9 - 100.0
200	99.8	99.7 - 100.0
300	99.8	99.3 - 100.1
500	99.5	98.4 - 100.2
1 000	98.8	95.5 - 101.0

Leimikot, joilta pätkittäin mitattu aineisto kerättiin, sijaitsivat Etelä-Suomessa tukkien kappaleittainmittauksessa rajatun Pohjanlahden rannikkoalueen ja muun Etelä-Suomen alueella. Pätkän pituuden vaikutus ei vaihdellut leimikon maantieteellisen sijainnin mukaan.

Valtaosa pätkittäin mitatuista rungoista oli kuusia, joten pätkän pituuden vaikutuksesta on vaikea tehdä päätelmiä puulajeittain. Mäntyjen tilavuudessa syntyi kuitenkin 16 cm:n pätkissä mitattuun tilavuuteen verrattuna huomattavan suuri aliarvio, kun pätkiä pidennettiin. Aliarvio oli sitä suurempi, mitä pitemmissä pätkissä tilavuus laskettiin. Sen sijaan kuusten tilavuus poikkesi huomattavasti vähemmän 16 cm:n pätkissä mitatusta tilavuudesta, vaikka se mitattiin pitkissäkin pätkissä.

Pätkän pituuden vaikutusta ei tutkittu puutavaralajeittain, koska mittalaitteen testitulosteille, joilta alkuperäiset läpimitat luettiin, ei tulostunut rungon katkaisukohtia ja puutavaralajeja. Toisaalta puumäärät olivat liian pieniä tällaiseen tarkasteluun.

Monitoimikoneiden mittalaitteiden mittaamien läpimittojen ja niiden mittauskohtien perusteella muodostetut runkokäyrät selittivät yleensä vähintään 99.5 % alkuperäisten läpimittojen vaihtelusta (selittävinä tekijöinä malleissa olivat puulaji sekä mittausetäisyys tyvestä ja sen muunnokset). Satunnaisia poikkeamia läpimitoissa oli harvoin. Runkokäyrältä 16 cm:n välein määritettyjen läpimittojen perusteella laskettu tilavuus oli leimikoittain keskimäärin 0.1 % pienempi kuin alkuperäisten läpimittojen perusteella vastaavalla tavalla laskettu tilavuus.



Kuva 1. Eri monitoimikoneiden mittalaitteissa sovelletuilla mittausmenetelmillä mitattu tukki- ja kuitupuun suhteellinen tilavuus, kun 1 m:n pätkissä lieriön kaavalla mitattu suhteellinen tilavuus on 100. Mittausmenetelmät: ks. liitettä sivulla 16

4.2 Mittausmenetelmien ja niiden sovellusten vaikutus tilavuuteen

Eri mittalaitteissa sovelletuilla mittausmenetelmillä kappaleittain mitattu tukkipuun tilavuus oli leimikoittain keskimäärin noin 2.5 % suurempi kuin 1 m:n pätkissä mitattu tilavuus. Keskimääräistä eroa lisäsivät kuitenkin kahdessa pienessä tutkimuserässä todetut suuret suhteelliset virheet (kuva 1).

Tutkimusaineisto kerättiin kahdeksasta leimikosta, joista yksi sijaitsi tukkien kappaleittainmittauksessa rajatun Pohjanlahden rannikon alueella, yksi Pohjois-Suomen eteläosassa ja loput muun Etelä-Suomen alueella. Yhdessä leimikossa todettu yli 10 %:n ero kappaleittainmittauksen ja pätkittäinmittauksen välillä saattaakin osaltaan aiheutua siitä, että leimikko sijaitsi aivan Pohjois-Suomen ja muun Etelä-Suomen rajan pohjoispuolella. Pohjanlahden rannikon alueelta mitattu leimikko ei poikennut mittausmenetelmien välisen eron suhteen muun Etelä-Suomen alueelta mitatuista leimikoista.

Eri mittalaitteissa sovelletuilla mittausmenetelmillä mitatut kuitupuun tilavuudet vaihtelivat huomattavasti mittausmenetelmittäin (kuva 1). Suurin poikkeama 1 m:n pätkissä mitattuun tilavuuteen verrattuna oli MD-2-mittalaitteessa sovelletulla menetelmällä. Leimikoittain tällä menetelmällä mitattu tilavuus oli keskimäärin 8.6 % suurempi kuin pätkittäin mitattu tilavuus. Vastaavasti Kajaani 1024 -mittalaitteessa sovelletulla menetelmällä mitattu tilavuus oli keskimäärin 2.5 % suurempi ja Marttiini-mittalaitteessa sovelletulla menetelmällä keskimäärin 1.0 % pienempi kuin pätkittäin mitattu tilavuus. Kajaani 1024 -mittalaitteessa eroa pätkittäin mitattuun kuitupuun tilavuuteen lisäsi usein tilavuuteen tehty muotokorjaus. Ilman muotokorjausta keskimääräinen ero olisi ollut pienempi.

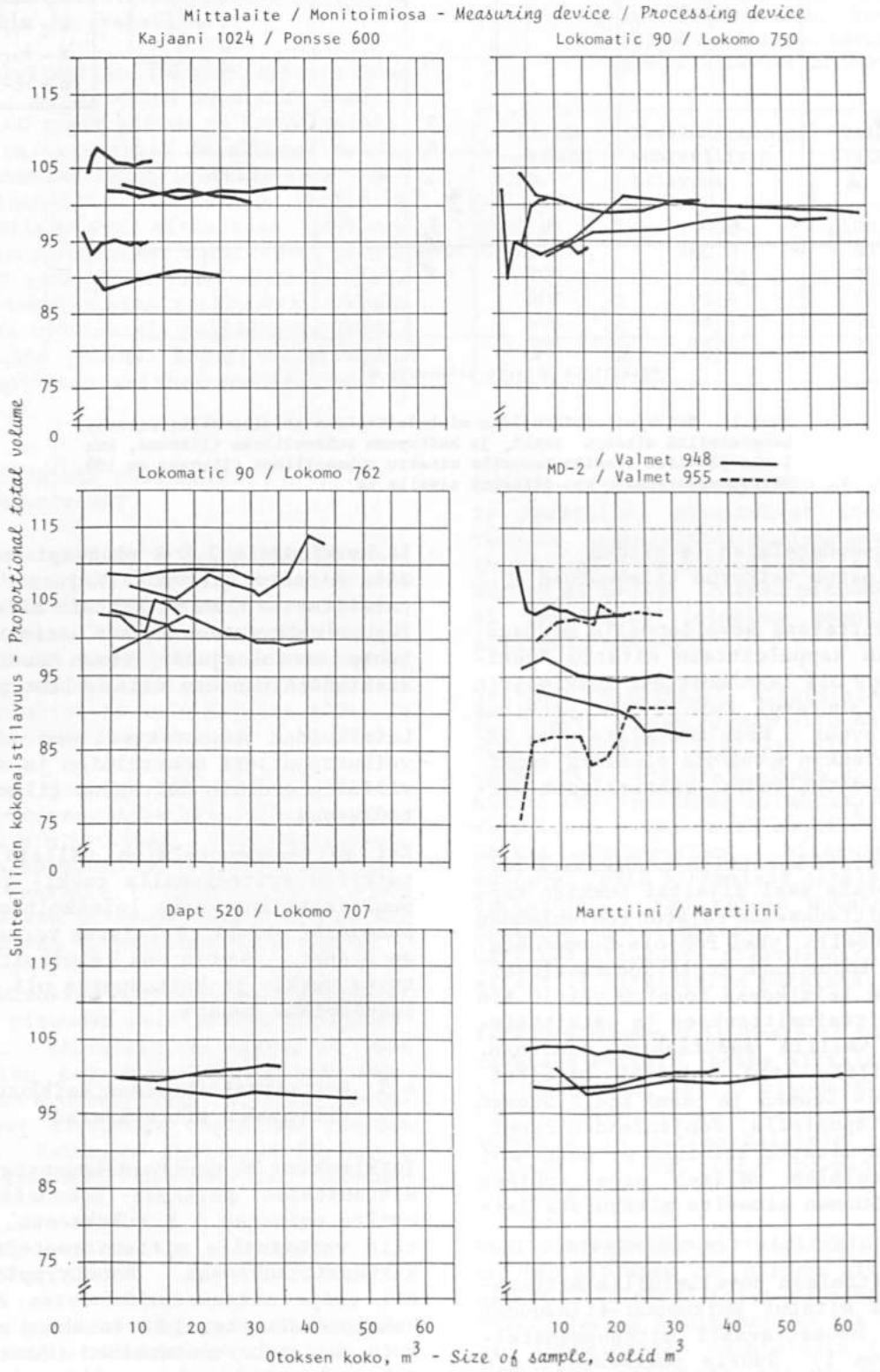
Leimikoiden maantieteellinen sijainti ei vaikuttanut eri menetelmien ja sovellusten välisiin eroihin kuitupuun tilavuuden mittauksessa.

Eri mittausmenetelmien välisiä eroja ei tutkittu erittelemällä tukki- ja kuitupuu puulajeittain, koska leimikoittain mitatut puumäärät olivat tällaiseen vertailuun liian pienet. Suurin osa leimikoittain mitatusta tukki- ja kuitupuusta oli useimmissa leimikoissa kuusta.

4.3 Eri mittalaitteiden tarkkuus tilavuuden mittauksessa

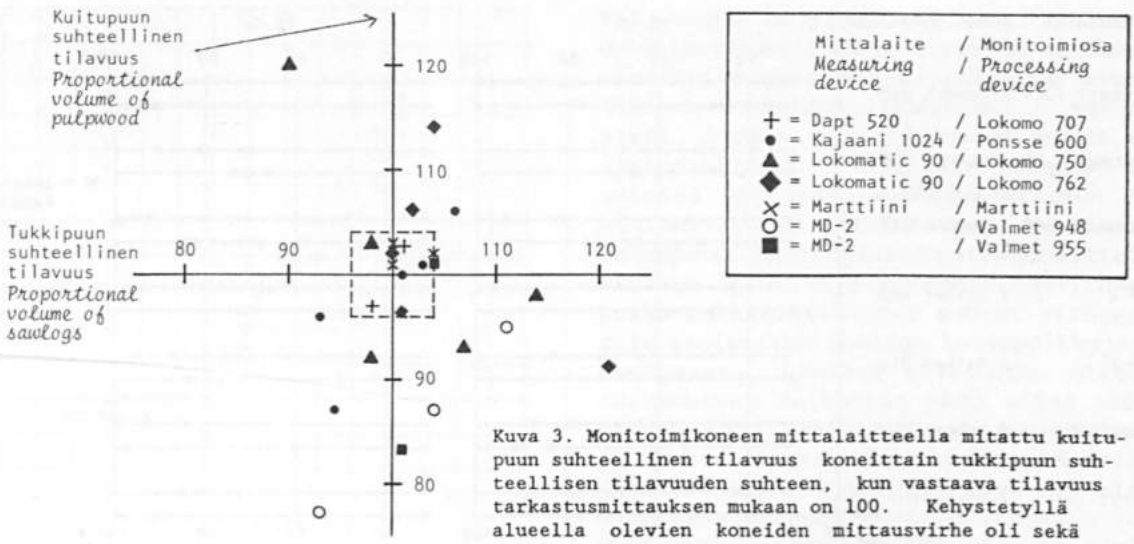
Tutkimuksen 25 monitoimikoneesta 16 koneen mittaustulos poikkesi kokonaistilavuuden osalta enintään 4 % tuloksesta, joka saatiin vastaavalla mittausmenetelmällä tarkastusmittauksessa. Konetyyppien välillä oli eroja mittaustarkkuudessa niin, että kaksioteharvestereiden tarkkuus oli parempi kuin yksioteharvestereiden (kuva 2). Myös eri konemerkkien ja -mallien välillä oli eroja.

Kaksioteharvestereiden parempaan mittaustarkkuuteen voi vaikuttaa myös se, että niiden valmistama puutavara on yleensä järeää, jolloin samansuuruisen mittausvirheen suhteellinen vaikutus tilavuuteen on pienempi kuin pienikokoista puutavaraa mitattaessa. Kaksioteharvestereiden



Kuva 2. Puutavaran suhteellinen kokonaistilavuus monitoimikoneen mittalaitteen mukaan koneittain tarkastetun puutavaraerän tilavuuden suhteen, kun suhteellinen tilavuus tarkastuksen mukaan on 100

Fig. 2. The proportional total volume of the timber as measured using the measurement device of the multi-purpose logging machine, in relation to the checked volume machine by machine, when the proportional volume by control measurement is 100



Kuva 3. Monitoimikoneen mittalaitteella mitattu kuitupuun suhteellinen tilavuus koneittain tukkipuun suhteellisen tilavuuden suhteen, kun vastaava tilavuus tarkastusmittauksen mukaan on 100. Kehystetyllä alueella olevien koneiden mittausvirhe oli sekä tukkien että kuitupuun osalta enintään 4 %

Fig. 3. The proportional total volume of pulpwood as measured using the measurement device of the multi-purpose logging machine in relation to the proportional checked volume of sawlogs machine by machine, when the corresponding volume by control measurement is 100 of both sawlogs and pulpwood. The measurement devices of the machines in the framed area measured the volume with less than 4 % deviation

valmistamien puutavarakappaleiden tilavuus oli tässä tutkimuksessa keskimäärin 124 dm^3 ja yksioteharvestereiden valmistamien 103 dm^3. - Mittaustarkkuuteen vaikuttaa kuitenkin paitsi mittalaitteen ja monitoimiosan tekninen taso myös koneenkuljettajien ammattitaito. Erot ilmenevät ainakin samanlaisella mittalaitteella varustettujen samanmallisten koneiden välillä.

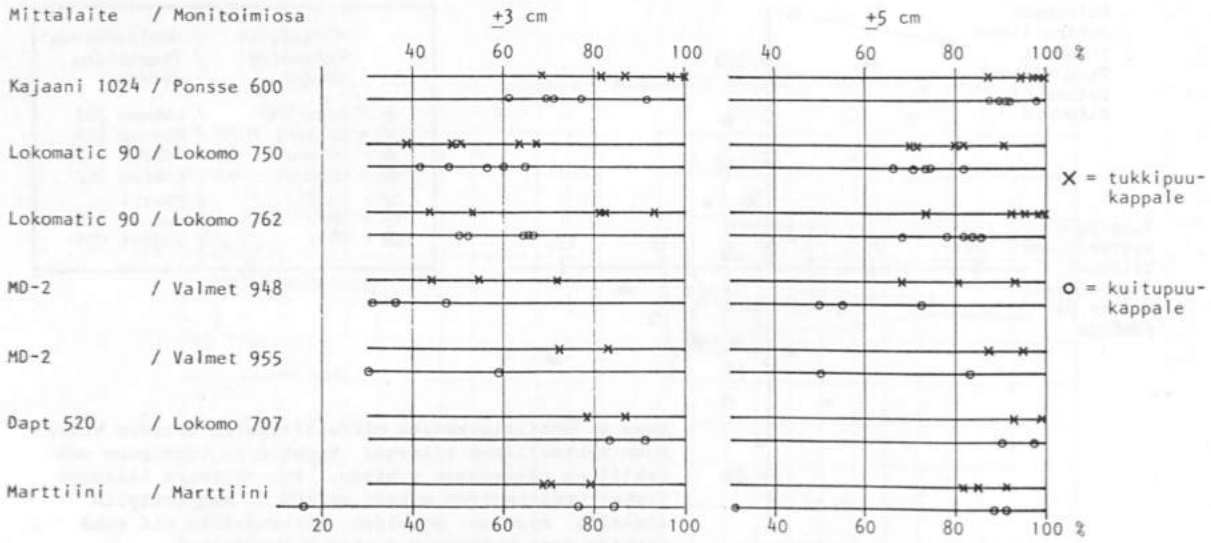
Mittalaitteiden tarkkuudesta kertoo myös mittausvirheiden pieni vaihtelu. Kuvassa 2 kuvattu puutavaran suhteellinen kokonaistilavuus laskettiin niin, että kunkin pienen tarkastusotoksen mittauksen jälkeen siihen asti mitatut otokset laskettiin yhteen ja verrattiin niiden koneella mitattua tilavuutta tarkastusmittauksen mukaiseen tilavuuteen, kunnes saatiin selville koko tarkastetun puutavaraerän suhteellinen tilavuus. Monilla koneilla näin laskettu kumulatiivinen mittaustuloksen ja tarkastusmittauksen välinen ero oli hyvin tasainen. Tietenkin yksittäisissä, pienissä otoksissa virheiden vaihtelu oli suurempi kuin kumulatiivisen eron vaihtelu, mutta kokonaisen leimikon tilavuuden mittauksen kannalta sillä ei ole merkitystä.

Useimpien koneiden mittalaitteen mittaustuloksen ja tarkastusmittauksen tuloksen välinen ero tasaantui viimeistään silloin, kun tarkastettu puutavaran tilavuus oli vähintään 30 - 40 m^3 (kuva 2).

Puutavaralajeittain mittaustarkkuus ei ollut yhtä hyvä kuin kokonaistilavuuden mittauksen tarkkuus. Sekä tukkien että kuitupuun tilavuuden mittauksessa 11 koneen mittaustulos poikkesi enintään 4 % tarkastusmittauksen tuloksesta (kuva 3). Useiden koneiden kokonaistilavuuden mittauksen tarkkuutta paransi puutavaralajeittaiseen tarkkuuteen verrattuna se, että puutavaralajeittaiset erot olivat erisuuntaiset ja kokonaistilavuutta laskettaessa ne tasasivat toisiaan. Toisaalta tarkastetut puumäärät puutavaralajeittain olivat varsin pieniä. Useimmiten ero mittalaitteen mittaustuloksen ja tarkastusmittauksen välillä vakiintui kuitenkin samalla, kun vastaava ero kokonaistilavuuden osalta vakiintui. - Eräissä tapauksissa puutavaralajeittaista tarkastusta vaikeutti se, että tarkastusmittaajan oli vaikea määrittää, miksi puutavaralajiksi tietty puutavarakappale oli tehty ja mitattu.

Puulaji ei vaikuttanut mittaustarkkuuteen. Tarkkuus ei vaihdellut merkittävästi myöskään leimikon maantieteellisen sijainnin mukaan.

Useimpien koneiden mittalaitteen ilmoittama runkojen ja puutavarakappaleiden määrä oli ainakin lähes sama kuin vastaava määrä tarkastusmittauksen mukaan. Virheet olivat satunnaisia. Runkojen laskennassa niitä syntyi esimerkiksi silloin, kun runkojen käsittely jouduttiin välillä keskeyttämään toisen rungon käsittelyn ajaksi ja ensimmäisen rungon käsittelyä jatkettiin vasta sen jälkeen. Puutavarakappaleiden määrässä syntyi virheitä esimerkiksi silloin, kun käsiteltiin kaksihaaraisia runkoja tai kun puun latva oli katkennut puuta kaadettaessa eikä latvaa katkaistu sahalla. Usein virheet aiheutuivat kuljettajien työtavoista.



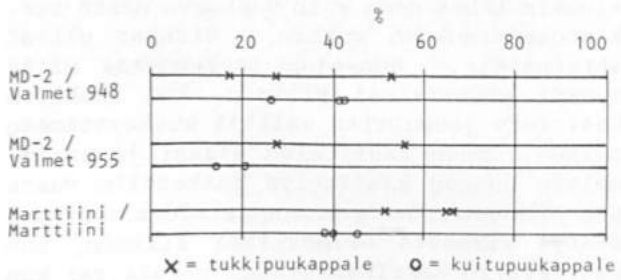
Kuva 4. Tietyllä tarkkuudella mitattujen tukki- ja kuitupuukappaleiden osuus mittalaitteittain ja koneittain, pituuden mittaus

4.4 Eri mittalaitteiden tarkkuus pituuden ja läpimitan mittauksessa

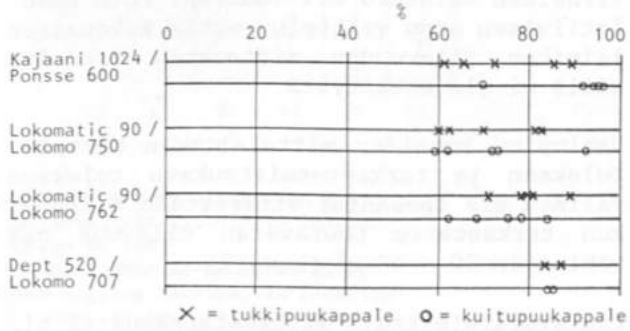
Pituuden mittauksen tarkkuus vaihteli huomattavasti koneittain ja myös eri mittalaitteiden välillä oli eroja (kuva 4). Sen sijaan mittaustarkkuus ei vaihdellut merkittävästi puu- tai puutavaralajeittain. Useimmiten rungon latvasta tehdyt, oksikkaat kuitupuupölkyt oli mitattu keskimäärin yhtä tarkasti kuin rungon tyvestä tehdyt vähäoksaiset tukit. Suuria mittausvirheitä sattui kuitenkin kuitupuupölkkyjä mitattaessa useammin kuin tukkeja mitattaessa. Myöskään puutavarakappaleen pituuden suhteen mittauksessa ei ollut systemaattisia virheitä, vaan virheet olivat satunnaisia.

Mittalaitteet poikkesivat läpimitan näytön osalta merkittävästi toisistaan. MD-2- ja Marttiini-mittalaitteen näytössä esitetään ainoastaan täydet senttimetrit. Muiden mittalaitteiden näytössä läpimitta esitetään millimetreinä. Koska tutkimuksessa läpimitat koneen mittausten mukaan kirjattiin useimmiten laitteiden näytöltä, läpimitan mittauksen tarkkuutta tarkasteltiin kahdessa ryhmässä mittalaitteiden esitystarkkuuden mukaan. Tuloksia ei voi verrata ryhmien välillä, sillä normaalijakaumalla laskettuna esimerkiksi kuvassa 5 esitetty 35 % vastaa kuvan 6 75 %:a. - Tilavuuden mittauksen tarkastukseen esitystarkkuus ei vaikuta, koska puutavarakappaleen latvaläpimitta voidaan luokitella jo täysien senttimetrien perusteella tilavuuden mittauksessa käytettyyn 1 tai 2 cm:n läpimittaluokkaan, olipa läpimitan luokitus aleneva tai tasaava.

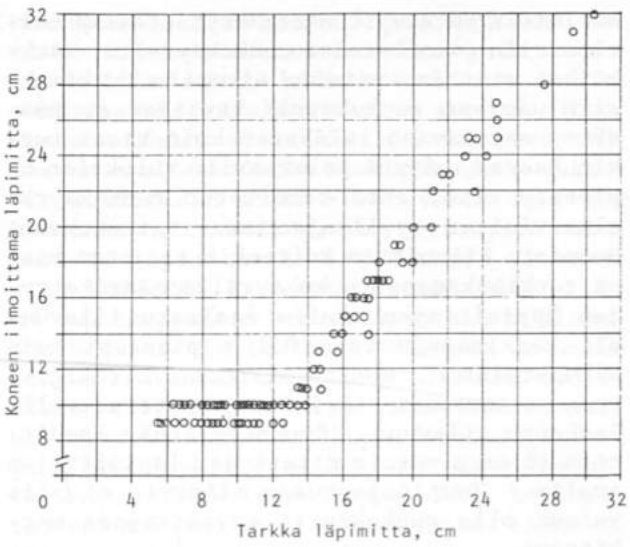
Myös latvaläpimitan mittauksen tarkkuudessa oli huomattavia eroja eri koneiden välillä (kuvat 5 ja 6). Se sijaan eri mittalaitteiden väliset keskimääräiset erot olivat melko pieniä, kun otetaan huomioon koneiden välinen hajonta. Myös eri puu- ja puutavaralajien väliset erot olivat melko pieniä, kun läpimitan mittauksen tarkkuutta arvioitiin tietyllä tarkkuudella mitattujen puutavarakappaleiden osuudella.



Kuva 5. Latvaläpimitaltaan täysien senttimetrien osalta oikein mitattujen tukki- ja kuitupuukappaleiden osuus koneittain



Kuva 6. Latvaläpimitaltaan ±10 mm:n tarkkuudella oikein mitattujen tukki- ja kuitupuukappaleiden osuus koneittain



Kuva 7. Esimerkki yhden monitoimikoneen mittalaitteen läpimitanmittaustarkkuudesta mitattavan läpimitan suhteen

Useiden koneiden läpimitanmittaustarkkuus vaihteli puutavarakappaleen latvaläpimitan suhteen. Yleensä ohuiden kappaleiden läpimitta mitattiin liian suureksi (kuva 7), mutta eräissä tapauksissa vastaava virhe tehtiin paksujen kappaleiden mittauksessa. Syynä ohuiden puutavarakappaleiden virheelliseen mittaukseen olivat esimerkiksi kuluneet syöttörullat, joiden asennon perusteella läpimitta määritetään. Varsinkin paksujen kappaleiden virheelliseen mittaukseen saattoi vaikuttaa myös se, ettei muunnos, jolla syöttörullien tai karsintaterien asento muutetaan läpimitaksi, ollut oikein kalibroitu.

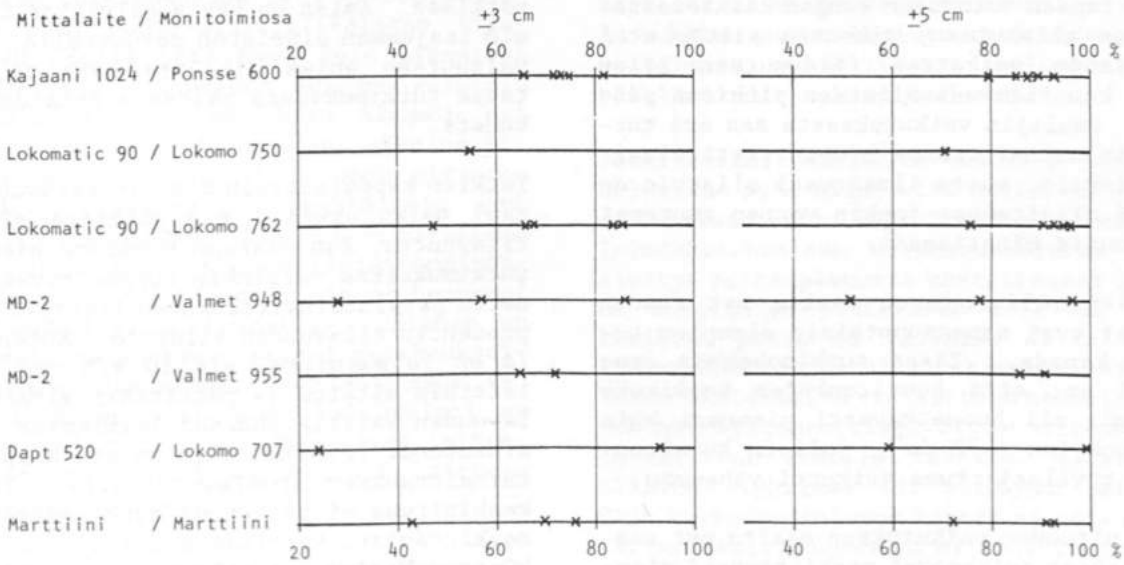
Tilavuuden mittauksessa voitiin saavuttaa hyvä tarkkuus, vaikka tietyllä tarkkuudella mitattujen puutavarakappaleiden osuus oli tilavuudenmittaustarkkuuteen verrattuna pieni, kunhan mittausvirheet eivät olleet systemaattisia. Varsinkin pituuden mittauksessa muutamat poikkeuksellisen suuret mittausvirheet vaikuttivat huomattavasti enemmän keskimääräiseen pituudenmittausvirheeseen kuin tilavuudenmittausvirheeseen, koska poikkeuksellisen suuret virheet tehtiin useimmiten ohuiden latvapölkkyjen mittauksessa. Lisäksi tilavuuden mittauksen tarkkuuteen vaikuttaa yhtä aikaa sekä pituuden että läpimitan mittauksen tarkkuus ja virheet voivat osittain kumota toisiaan. Samoin läpimitan mittauksessa ero mittaussuunnassa mittalaitteen mittauksen ja tarkastusmittauksen välillä aiheuttaa ylimääräistä vaihtelua. Niinpä pelkästään läpimitan tai pituuden mittauksen tarkkuuden perusteella oli vaikea arvioida tilavuuden mittauksen tarkkuutta.

4.5 Tukkien apteerauksen tarkkuus

Apteerauksen tarkkuutta tarkasteltiin ainoastaan määräpituisten tukkien katkonnan tarkkuuden osalta. Tarkkuudessa kiinnitettiin huomiota sekä poikkeamiin ohjepituudesta että minimilatvaläpimitan alituksiin.

Poikkeamat ohjepituudesta vaihtelivat koneittain (kuva 8). Koneiden välisiin eroihin vaikuttivat ilmeisesti merkittävästi kuljettajien työskentelyerot.

Noin puolet koneista ei ollut valmistanut lainkaan läpimittavaatimuksia ohuempia tukkeja. Muiden koneiden valmistamien läpi-



Kuva 8. Tietyllä tarkkuudella katkottujen tukkien osuus kaikkiaan tarkastetuista tukeista mittalaitteittain ja koneittain

mittavaatimukset alittaneiden tukkien osuus oli puutavaralajeittain ja koneittain 1.1 - 30.2 %. Liian ohuiden tukkien osuus oli keskimäärin 12.1 %, ja puolella niistä koneista, jotka olivat valmistaneet alimittaisia tukkeja, liian ohuiden tukkien osuus oli alle 7.9 %:n. Osuus vaihteli satunnaisesti koneittain niin, että eri konemerkkien välillä ei ollut eroja.

5 TULOSTEN TARKASTELU

Tutkimukseen valittiin yleisimpiä, uusilla mittalaitteilla varustettuja monitoimikonemerkkejä, joiden kuljettajat olisivat kokeneita ja tottuneita mittalaitteiden käyttöön. Tulosten tulisi siten edustaa hyvää, käytännössä nykyisin saavutettavaa tarkkuutta. Toisaalta sää oli tutkimuksen aikana poikkeuksellisen lämmin ja puutavaraa valmistettaessa puun kuori irtosi osittain, vaikka aineistoa ei kerättykään varsinaisena nila-aikana. Se on saattanut osaltaan huonontaa mittaustarkkuutta.

Pätkän pituuden vaikutusta tilavuuden mittauksen tarkkuuteen, kun tilavuus lasketaan pätkän keskusläpimitan ja pituuden perusteella lieriön kaavalla, on tutkittu aiemmin useissa tutkimuksissa. Muun muassa Kärkkäinen (1974 a) on esittänyt yhdistelmän aiemmista tutkimuksista. Niiden mukaan puutavaran tilavuuden laskenta lieriönä aiheuttaa tilavuuden 1 - 2 %:n aliarvion jo silloin, kun pätkän pituus on 1 - 2 m. Aliarvio on sitä suurempi, mitä pitemmissä pätkissä tilavuus mitataan. Aliarvion suuruus vaihtelee myös sen mukaan, miltä kohtaa runkoa puutavara on valmistettu. Suurimpaan aliarvioon päädytään rungon tyvessä ja tarkimpaan tulokseen rungon keskiosassa. Valtaosa aliarviosta aiheutuu siitä, että tyvipaisuma vaikuttaa tilavuuteen liian vähän, kun tilavuus mitataan pitkissä pätkissä. Puulajin vaikutuksesta saa eri tutkimuksia vertailtaessa hieman ristiriitaisia tuloksia, mutta ilmeisesti aliarvio on mäntyjä mitattaessa jonkin verran suurempi kuin kuusia mitattaessa.

Puulajien välisen eron osalta nyt saadut tulokset ovat samansuuntaisia aiempien tulosten kanssa. Tässä tutkimuksessa eroa korosti se, että kuusirunkojen keskikoko (278 dm^3) oli huomattavasti pienempi kuin mäntyrunkojen (472 dm^3), jolloin kuusirungoissa tyvilaajentuma vaikutti vähemmän.

Pätkän pituuden vaikutuksen osalta nyt saadut tulokset poikkeavat merkittävästi aiemmista tuloksista. Yksi syy eroon saattaa olla se, että tässä tutkimuksessa läpimitat erilaisia pätkänpituuksia käytettäessä määritettiin tasoitetulta runkokäyrältä. Kärkkäinen viittaa eräisiin aiempiin tutkimuksiin, joissa runkokäyriä käyttäen on päädytty vastaavaan tulokseen kuin tässä tutkimuksessa. Syynä poikkeaviin tuloksiin on pidetty sitä, että tasoitetut runkokäyrät aliarvioivat tyvilaajentuman vaikutuksen. Huomiota kiinnittää kuitenkin se, että tässä tutkimuksessa runkokäyrältä määritettyjen läpimittojen avulla laskettu tilavuus oli keskimäärin vain 0.1 % pienempi kuin alkuperäisten, monitoimikoneen mittalaitteen mittaamien läpimittojen perusteella laskettu tilavuus. Runkokäyräthän laadittiin 16 cm:n välein mitattujen läpimittojen avulla. Tyvilaajentuman aliarvio ei siis voinut olla runkokäyriä käytettäessä merkittävä.

Toinen syy poikkeavaan tulokseen saattaa olla se, että pätkittäin mittaavat mittalaitteet, joiden testitulosteelta alkuperäiset läpimitat saatiin, testaavat mittaamansa läpimitat ja poistavat epäloogiset havainnot. Testattujen läpimittojen avulla muodostetaan runkokäyrä, jonka avulla lasketaan tilavuus. Testattujen läpimittojen käyttö saattaa tasoittaa hieman runkokäyrän vaikutusta. Samaan suuntaan vaikuttaa myös se, että mittalaitteet eivät mittaa läpimittoja aivan rungon tyveltä, vaan ensimmäiset läpimitat saadaan hieman ylempää ja tyven tilavuus lasketaan näiden läpimittojen perusteella. Testatuissa laitteissa ensimmäinen läpimitta mitataan noin 30 cm:n tai 240 cm:n päästä tyvestä (liite, s. 16). Mittalaitteen mittaukset saattavat siten tasoittaa tyvilaajentuman vaikutusta niin, että aliarvio mittalaitteen mittaamaan tilavuuteen verrattuna oli pieni, vaikka tilavuus mitattiin tarkastuksessa pitkissäkin pätkissä. Asiaa on syytä selvittää tarkemmin laajemman aineiston perusteella. Varovaisuuteen antaa aiheutta myös se, että tässä tutkimuksessa pääosa aineistosta oli kuusta.

Tukkien kappaleittain mitattu tilavuus vastasi melko hyvin 1 m:n pätkissä mitattua tilavuutta, kun otetaan huomioon aiemmissa tutkimuksissa varsinkin rungon tyvessä todettu pätkittäinmittaukseen liittyvä jopa 2 prosentin tilavuuden aliarvio. Kuten edellä on jo mainittu, yli 10 %:n ero kappaleittain mitatun ja pätkittäin mitatun tilavuuden välillä yhdessä leimikossa lienee aiheutunut leimikon sijainnista kappaleittainmittauksen aluejaon rajalla. Tukkien keskipituus ei poikennut tutkimustyömailla merkittävästi keskimääräisestä, joten keskipituuskorjaus ei aiheuttanut merkittäviä eroja kappaleittainmittausta soveltavien mittalaitteiden tulosten välillä.

Kuitupuun mittauksessa 1 m:n pätkissä mitattu tilavuus vastannee melko hyvin todellista tilavuutta, koska suurin osa kuitupuukappaleista valmistettiin runkojen latvasta. Yhden mittalaitteen mittaussovelluksen osalta todettu keskimääräinen aliarvio pätkittäin mittaukseen verrattuna aiheutunee mittalaitteessa käytetystä alenevasta läpimitan luokituksesta. Lisäksi eroa korostaa se, että pitkän (4 - 5 m) kuitupuukappaleen keskusläpimitan ja pituuden perusteella laskettu tilavuus on usein rungon latvaosassakin lievä aliarvio todelliseen tilavuuteen verrattuna. Vastaavasti mittaussovelluksessa, jossa keskusläpimitan ja pituuden perusteella laskettua tilavuutta korjataan kuitupuukappaleiden keskipituuden mukaan, korjausprosentit lienevät liian suuret ainakin, kun mitataan rungon latvaosasta tehtyä kuitupuuta. Aiemmin on todettu, että kuitupuun tilavuuden laskenta puutavarakappaleiden latvan ja tyven poikkileikkauksen sekä pituuden perusteella johtaa ainakin mäntykuitupuuta mitattaessa useammin virheelliseen tulokseen kuin pelkän keskusläpimitan ja pituuden käyttö (Kärkkäinen 1974 b). Silloin latvan ja tyven poikkileikkauksia on kuitenkin painotettu yhtä paljon. Erilaisten painotusten käytöstä Suomessa ei liene aiemmin julkaistu tuloksia.

Kajaani 1024- ja Lokomatic 90 -mittalaitteen tilavuudenmittaustarkkuutta ja perusmittausten tarkkuutta on tutkittu aiemmin mm. Metsätehon pikatesteissä (Rieppo 1989 a ja b). Näissä tutkimusraporteissa on myös kuvattu mittalaitteiden toimintaa tarkemmin kuin tässä raportissa.

Keskimääräinen tilavuudenmittaustarkkuus oli tässä tutkimuksessa sekä kokonaistilavuuden että puutavaralajeittaisten tilavuuksien osalta yhtä hyvä kuin aiemmissa tutkimuksissa. Koneiden välinen vaihtelu oli kuitenkin suurempi kuin aiemmin eri koneiden tai saman koneen eri aikoina kerättyjen näytteiden välillä. Myös pituuden mittauksen tarkkuus oli keskimäärin yhtä hyvä kuin aiemminkin. Sen sijaan varsinkin Kajaani 1024 -mittalaitteen läpimitanmittaustarkkuus oli keskimäärin hieman huonompi kuin aiemmissa tutkimuksissa. Siihen on ilmeisesti vaikuttanut paitsi poikkeuksellisen sään aiheuttamat ongelmat myös se, että läpimitan mittauksen kalibrointi on vaativa tehtävä. Pikatesteissä mittalaitteen on yleensä kalibroinut laitteen valmistajan edustaja.

Apteerauksen tarkkuutta on ohjepituuksien noudattamisen osalta tutkittu aiemmin paitsi Metsätehon pikatesteissä myös mm. Metsätehon toimesta suoritetussa, lähes kaikki Metsätehon jäsenyritykset kattaneessa selvityksessä (Halinen 1989).

Keskimääräinen katkontatarkkuus oli tässä tutkimuksessa mittalaitteittain ja konemalleittain useimmiten samanlainen kuin aiemmassakin selvityksessä. Aiempaan verrattuna selvästi paremman keskimääräisen katkontatarkkuuden saavutti Lokomatic 90 -mittalaitteella varustettu Lokomo 762 -yksioteharvesteri. Aiemmassakin selvityksessä koneiden välinen vaihtelu oli merkittävä.

Ainakin kun monitoimikoneiden mittalaitteita aletaan ottaa käyttöön ja niillä korvataan perinteisiä mittaustapoja, laitteiden mittaustuloksia on tarkastettava systemaattisesti. Tarkastuksen järjestämisen kannalta tämän tutkimuksen tuloksista voidaan tehdä eräitä päätelmiä.

Kun tarkastetaan mittalaitteen mittaustarkkuutta, on tärkeää, että tarkastus tehdään mittalaitteessa sovelletulla mittausmenetelmällä. Varsinkin kuitupuun mittauksessa eri menetelmät saattavat johtaa erilaisiin tuloksiin. Vaikka tässä tutkimuksessa pätkittäinmittauksessa aiheutui vain suhteellisen pieni aliarvio mittalaitteen mittaamaan tilavuuteen verrattuna jopa silloin, kun tilavuus mitattiin hyvinkin pitkissä pätkissä, tarkastusmittauksessa on edelleen syytä varovaisuussyistä mitata puutavaran tilavuus enintään 1 m:n pätkissä. Pitempien pätkien käyttö vaatii lisäselvityksiä.

Kuitupuun keskusläpimittaan ja pituuteen perustuvan mittauksen tarkkuutta voidaan mahdollisesti parantaa tarkistamalla puutavarakappaleiden keskipituuden perusteella käytettävät muotokorjausprosentit. Niiden ja tukkien uusien keskusmuotolukujen avulla voitaisiin mahdollisesti helpottaa myös pätkittäinmittauksen tarkastusta.

Pätkittäinmittauksen tarkastusta voitaisiin helpottaa myös niin, että mittalaite laskisi mittaamiensa läpimittojen perusteella leimikkokohtaisen keskusmuotoluvun, jolla tiettyä pätkänpituutta käytettäessä lieriönä kuutioidun puutavaran tilavuus tulisi korjata, jotta se vastaisi mittalaitteen lyhyemmissä pätkissä mittaamaa tilavuutta. Todennäköisesti mittalaitteen mahdollisesti tekemät systemaattiset mittausvirheet vaikuttaisivat samalla tavalla, mitattiinpa tilavuus lyhyissä tai pitkissä pätkissä. Näin keskusmuotoluvun käyttö ei vaikuttaisi tarkastusmittauksen ja mittalaitteen antaman tuloksen suhteeseen.

Käytännössä mittaustulos voitaisiin tarkastaa kahdessa vaiheessa: Ensimmäisessä vaiheessa mitattaisiin 30 - 40 m^3 puutavaraa. Kun kokonaistilavuus ja pääpuutavaralajien tilavuus olisi mitattu hyväksyttävän tarkasti, tarkastus voitaisiin päättää ensimmäisen vaiheen jälkeen. Jos eroja todettaisiin, mitattaisiin toinen samankokoinen näyte ja näytteiden yhteistuloksen perusteella tehtäisiin tarvittavat korjaukset sekä kokonaistilavuuteen että puutavaralajeittaisiin tilavuuksiin.

KIRJALLISUUTTA
References

HALINEN, M. 1989. Määräpituisen puutavaran katkonnan tarkkuus koneellisessa hakkuussa. Summary: The Bucking Accuracy of Logging Machines for Timber of Standard Length. Metsätehon katsaus - Metsäteho Review 4/1989. Helsinki

KÄRKKÄINEN, M. 1974 a. Keskusmuotoluvun perusteita tukkien ja kuitupuun mittauksessa. Summary: Foundations of Middle Form Factor in the Measurement of Logs and Pulpwood. Suomen Metsätieteellinen Seura - Society of Forestry in Finland, Silva Fennica, Vol. 8, N:o 1:47 - 88. Helsinki

- " - 1974 b. Näkökohtia tyvi- ja latvaläpimitan keskiarvoon perustuvasta mäntypölkkyjen kuutioinnista. Summary: A Note on the Volume Based on the Mean of Butt and Top Diameters of Pine Bolts. Suomen Metsätieteellinen Seura - Society of Forestry in Finland, Silva Fennica Vol. 8, N:o 2:105 - 110. Helsinki

RIEPPO, K. 1989 a. Lokomatic 90 -mittausjärjestelmä ja sen mittaustarkkuus. Summary: The Lokomatic 90 Measurement System and its Accuracy. Metsätehon katsaus - Metsäteho Review 3/1989. Helsinki

- " - 1989 b. Kajaani 1024 -mittalaite ja sen mittaustarkkuus. Summary: The Kajaani 1024 Measurement Device and its Measurement Accuracy. Metsätehon katsaus - Metsäteho Review 7/1989. Helsinki

ACCURACY OF THE MOST COMMON MEASUREMENT DEVICES ON MULTI-PURPOSE LOGGING MACHINES

By Markku Halinen

S u m m a r y

The measuring systems in the measurement devices used on multi-purpose logging machines differ from each other to a significant extent, particularly in volume measurement of pulpwood. The differences must be noted when measurement results are compared.

The results of measurements by devices on 25 multi-purpose logging machines were studied. The results of 16 devices deviated no more than 4 % from the total volume when control measured using a comparable measuring system. The measurement devices installed on the two-grip harvesters were the most accurate. - However, the accuracy of the measurement is also dependent on the driver's skill.

The measurement devices of 11 machines measured volume with less than 4 % deviation on both sawlogs and pulpwood.

The bucking accuracy of sawlogs differed widely from machine to machine. Bucking accuracy was on average the same as in earlier studies by Metsäteho. Approximately one-half of the machines made no sawlogs that were too thin. The proportion of too thin sawlogs was 12.1 % on average for other machines.

Key Words: Timber measurement, accuracy
Mechanical cutting,
measuring equipment

MONITOIMIKONEIDEN MITTALAITTEISSA SOVELLETUT MITTAUSMENETELMÄT

Mittalaite (perusmittausten mittaustapa)	Koneen merkki ja tyyppi	Puutavaralaji					
		Sahatukit	Kuitupuu	Sorvitukit	Pikkutukit	Parruaiheet	Laho
Kajaani 1024 (pituus pituusmittarullalla, läpimitta syöttötelien asennon mukaan)	Ponsse 600	Latvaläpimitta 2 cm:n ja pituus 3 dm:n luokin, mittausneuvoston vahvistamat yksikkötilavuusluvut, keskipituuskorjaus	Keskusläpimitta 2 cm:n ja pituus 1 dm:n luokin, tilavuus lieriön kaavalla, muotokorjaus pölkkyjen keskipituuden mukaan 1.0 - 2.0 m + 1.8 % 2.1 - 3.0 m + 2.4 % 3.1 - 4.0 m + 3.0 % 4.1 - 5.0 m + 3.6 %	Kuten sahatukit, pituus 1 cm:n luokin	Latvaläpimitta ja pituus 1 cm:n luokin, muuten kuten sahatukit	Keskusläpimitta 2 cm:n ja pituus 1 cm:n luokin, tilavuus lieriön kaavalla, ei muotokorjausta	Kuten kuitupuu, mutta ei muotokorjausta
Lokomatic 90 (pituus pituusmittarullalla, läpimitta karsintaterien asennon mukaan)	Lokomo 750 Lokomo 762	Puutavaran tilavuus lasketaan katkaistun kartion kaavalla noin 16 cm:n välein mitattujen rungon läpimittojen ja mittausvälin pituuden perusteella. Puun tyvestä noin 30 cm:n pätkän tilavuus lasketaan katkaistuna kartiona, jonka latvaläpimitta on noin 30 cm:n kohdalla mitattu rungon läpimitta, tyviläpimitta lisättynä 1 mm:llä pätkän pituuden 10 cm:ä kohti ja pituus keskimäärin 30 cm (pituus vaihtelee konetyypeittäin). Kun puutavarakappaleen pituus ei ole tasan 30 cm:llä jaollinen, viimeisen, alle 30 cm pitkän pätkän tilavuus lasketaan katkaistuna kartiona puutavarakappaleen latvaläpimitan, edellisen 30 cm:n latvaläpimitan ja viimeisen pätkän pituuden perusteella.					
MD-2 (pituus pituusmittarullalla, läpimitta syöttörullien asennon mukaan)	Valmet 948 Valmet 955	Latvaläpimitta 2 cm:n ja pituus 1 dm:n luokin, mittausneuvoston vahvistamat yksikkötilavuusluvut, ei muotokorjausta	Pituus, latva- ja tyviläpimitta 1 cm:n luokin, latvan poikkileikkausta painotetaan luvulla 0.515 ja tyven luvulla 0.485, tilavuus pituuden ja painotetun poikkileikkauksen tulona	Kuten sahatukit	Latvaläpimitta 1 cm:n luokin, muuten kuten sahatukit	Pikkutukkeina, minimilatvaläpimitta 9 cm	Kuten kuitupuu
Dapt 520 (pituus pituusmittarullalla, läpimitta karsintaterien asennon mukaan)	Lokomo 707	Puutavaran tilavuus lasketaan katkaistun kartion kaavalla noin 10 cm:n välein mitattujen rungon läpimittojen ja mittausvälin pituuden perusteella. Puun tyvestä noin 240 cm:n pätkän tilavuus lasketaan noin 240 cm:n kohdalta mitatun rungon läpimitan ja pätkän pituuden perusteella lieriönä, jonka tilavuutta korjataan korjauskertoimella 1.2 - 1.4 (kerrointa voidaan muuttaa leimikoittain). Kun puutavarakappaleen pituus ei ole tasan 10 cm:llä jaollinen, sen viimeisen, alle 10 cm pitkän pätkän tilavuus lasketaan seuraavaan täyteen 10 cm:iin Ylityksen tilavuus puuttuu vastaavasti seuraavan puutavarakappaleen tilavuudesta.					
Marttiini (pituus pituusmittarullalla, läpimitta syöttörullien asennon mukaan)	Marttiini	Latvaläpimitta 2 cm:n ja pituus 3 dm:n luokin, mittausneuvoston vahvistamat yksikkötilavuusluvut, ei keskipituuskorjausta	Keskusläpimitta ja pituus 1 cm:n luokin, tilavuus lieriön kaavalla, ei muotokorjausta	-	-	-	Kuten kuitupuu

ISBN 951-673-117-1
ISSN 0356-7257