

Metsätehon raportti 134  
12.8.2002

# **Otantamittauksen kehittäminen**

*Timo Hokka, Heikki Alanne*

# Otantamittauksen kehittäminen

**Timo Hokka**  
**Heikki Alanne**

Metsätehon raportti 134  
12.8.2002

Ryhmähanke: Koskitukki Oy, Metsäliitto Osuuskunta, Metsäteollisuus ry, Stora Enso Oyj, UPM-Kymmene Oyj, Vapo Timber Oy ja Yksityismetsätalouden Työnantajat r.y.

Asiasanat: puutavaran mittaus, otantamittaus, kuitupuu, tukit, optinen mittaus

© Metsäteho Oy

Helsinki 2002

## SISÄLLYS

<b>TIIVISTELMÄ.....</b>	<b>4</b>
<b>1 JOHDANTO .....</b>	<b>8</b>
1.1 Tutkimuksen tausta.....	8
1.2 Tutkimuksen tavoite .....	8
<b>2 KAPPALEOTANTA.....</b>	<b>9</b>
2.1 Tavoite ja toteutus .....	9
2.2 Aineisto.....	9
2.3 Toteutus .....	10
2.4 Tulokset .....	10
2.5 Päätelmät .....	12
<b>3 OTANTAMITTALAITTEET.....</b>	<b>13</b>
3.1 Pölkyittäinen optinen mittaus .....	13
3.2 Mittalaitteen käyttökelpoisuus- ja tarvekartoitus .....	13
3.3 Tulokset ja päätelmät.....	13
3.3.1 Tukkien tarkastusmittaus .....	13
3.3.2 Kuitupuun otantamittaus.....	15
<b>4 AIEMMAN TILAVUUSPAINOTIEDON HYVÄKSIKÄYTTÖ .....</b>	<b>18</b>
4.1 Tausta ja tavoite.....	18
4.2 Keskimääräisen tilavuuspainon määrittämenetelmät.....	18
4.2.1 Rekursiivinen suodatus .....	18
4.2.2 Liukuva keskiarvo.....	19
4.2.3 Keskiarvokäyrällä kuutiointi.....	19
4.2.4 Aiempien arvojen liukuvan keskiarvon ja keskiarvokäyrän yhdistelmä.....	20
4.3 Aineisto.....	20
4.4 Toteutus .....	20
4.4.1 Laskentamenettely .....	20
4.4.2 Laskentavaihtoehdot .....	21
4.5 Tulokset .....	22
4.5.1 Eri vuosien välinen tilavuuspainojen vaihtelu .....	22
4.5.2 Mittaerot vuositasolla.....	24
4.5.3 Mittaerot kuukausitasolla.....	27
4.6 Päätelmät .....	29

## TIIVISTELMÄ

Tutkimuksessa selvitettiin mahdollisuudet otantamittauksen kehittämiseen. Ensimmäisenä osatehtävänä selvitettiin kappaleotantamenetelmän kehittämismahdollisuudet. Tällä menettelyllä pyrittiin helpottamaan otantapölkkyjen mittausta vähentämällä otantapölkkyjen määrää. Toiseksi tehtiin matriisikameraan ja kuvatulkintaan perustuvan otantamittalaitteen käyttökelpoisuus- ja tarvekartoitus. Kolmanneksi tarkasteltiin historiatiedon hyväksikäyttöä paino-otantamittauksen kehittämisessä. Matriisikameraan ja kuvatulkintaan perustuvaa mittausta kehitettiin projektin alihankintana Tampereen teknillisessä korkeakoulussa. Joensuun yliopiston FL Eero Korpelainen puolestaan teki kuusen paino-otantamittauksen kehittämisestä erillisen jatkotyön. Nämä kaksi osatehtävää on raportoitu erikseen.

### Kappaleotantamittaus

Tutkimuksessa simuloitiin mittaustapaa, jossa koenipusta mitataan osa pölkkyistä tarkasti, esimerkiksi 1 metrin pätkissä, ja tämän näytteen perusteella lasketaan koko nipun tilavuus. Simuloinnin aineisto tuotettiin Metsätehon runkopankkitietokannasta. Tarkasteltavat puulajit olivat mänty, kuusi ja koivu. Keskeisenä tutkimusongelmana oli se, että päästäisiinkö tällä menetelmällä pienemmällä työllä samaan tarkkuuteen koko nipun tilavuuden määrittämisessä kuin jokaisen pölkyn keskuskiintomittauksella.

Kullekin puulajille tehtiin seitsemän erilaista systemaattista otantaa. Nipusta valittiin vuorollaan joka toinen, joka kolmas, joka neljäs, joka viides, joka kuudes ja joka seitsemäs pölkky. Otantaan valituista pölkkyistä estimoitiin kullekin nipulle tilavuus. Eri otannoille estimoituja nippujen tilavuuksia verrattiin kunkin nipun oikeaan tilavuuteen.

Yksittäisen nipun tilavuuden määrittämisessä mittausvirheet olivat suuria (taulukko). Mitattaessa otannalla joka toinen pölkky vaihteli mittausvirhe kaikilla puutavaralajeilla keskimäärin kuusen  $-0,19\%$ :n aliarviosta koivun  $0,17\%$ :n yliarvioon. Mittausvirheen keskihajonnat vaihtelivat vastaavasti koivulla  $3,12\%$  ja kuusella  $4,28\%$ . Tällöin yhden nipun mittausvirheen  $95\%$ :n luottamusväli olisi puutavaralajista riippuen noin  $\pm 6 - 8\%$ . Vastaavasti otettaessa otantaan joka kolmas pölkky kasvaa mittausvirheen  $95\%$ :n luottamusväli koivulla  $\pm 9\%$ :iin, kuusella  $\pm 12\%$ :iin ja männyllä  $\pm 14\%$ :iin. Poimittaessa otantaan joka neljäs pölkky on mittausvirheen  $95\%$ :n luottamusväli kaikilla puutavaralajeilla yli  $\pm 14\%$ .

TAULUKKO Nippukohtaisen mittausvirheen tunnusluvut

Otanta		Mänty	Kuusi	Koivu
		%		
Joka toinen pölkky	Keskiarvo	-0,01	-0,19	0,17
	Keskihajonta	3,82	4,28	3,12
	Min	-8,54	-10,95	-5,19
	Max	10,04	9,18	8,94
Joka kolmas pölkky	Keskiarvo	0,16	0,23	0,40
	Keskihajonta	6,81	5,88	4,52
	Min	-21,25	-17,18	-12,78
	Max	20,94	20,64	11,78
Joka neljäs pölkky	Keskiarvo	-0,71	-0,35	1,97
	Keskihajonta	7,38	7,14	7,13
	Min	-19,97	-18,63	-10,54
	Max	17,07	23,49	20,22

Tutkimuksen perusteella kappaleotanta ei sovellu yksittäisen nipun tilavuuden määrittämiseen. Kun verrattiin pölkkyjen mittausta metrin pätkissä keskeltä mittaukseen, noin 20 % pölkkyistä voitiin mitata metrin pätkissä samassa ajassa kuin koko nippu pelkästään keskeltä mitaten. Simuloitujen tulosten perusteella tämäkin otantasuhde tuotti aivan liian ison nippukohtaisen virheen, jotta menettelyllä voitaisiin tarkistaa yksittäisen nipun tilavuutta.

### Otantamittauslaitteet

Matriisikameraan ja kuvatulkintaan perustuvan optisen mittalaitteen käyttökelpoisuus- ja tarvekartoitus tehtiin postikyselynä erikseen tukkien tarkastusmittausta ja kuitupuun otantamittausta koskien. Tukkien tarkastusmittausta koskeva kysely lähetettiin 100:lle Metsäteollisuus ry:n ja Suomen Sahat ry:n jäsenyritysten omistamalle sahalle. Kyselyyn saatiin 25 vastausta, jotka edustivat 34 sahaa. Kuitupuun otantamittausta koskeva kysely lähetettiin 40:lle kuitupuuta käyttävälle laitokselle. Kyselyyn tuli 15 vastausta, jotka edustivat 21 tuotantolaitosta.

Tukkien tarkastusmittauksen osalta mittalaitteelta edellytetty mittaustarkkuusvaatimus noudatteli nykyisen puutavarapölkkyjen mittaussuhteen vaatimuksia. Läpimitan mittaukselle tarkkuusvaatimus oli yksi mm ja pituuden mittaukselle yksi cm. Tilavuuden mittauksen tarkkuusvaatimus vaihteli 0,5 - 1 prosentin välillä. Mittalaitteen ominaisuusvaatimuksista mittaustarkkuus arvioitiin kaikkein merkittävimmäksi. Kiinteästi asennettuun kameraan liittyvä kuvainformaation hyväksikäyttö automaattisessa laadutuksessa sai asteikolla 1 - 5 keskimäärin merkityksen 3,7 ja manuaalisesti suoritettavassa etälaadutuksessa 3,1. Poiskuluneen kuoren lisäysmahdollisuutta sekä vastaavasti jään ja lumen vähennysmahdollisuutta läpimitan mittauksessa pidettiin välttämättömänä ominaisuutena. Pölkkyittäiselle ääriivakäyrälle ei nähty tarvetta.

Kuitupuun otantamittauksen osalta vastaajat edellyttivät läpimitan mittaustarkkuudeksi keskimäärin  $\pm 2,1$  mm ja pituuden mittaustarkkuudeksi  $\pm 3,1$  cm. Kuitupuun mittauksessa keskeltä saa käyttää läpimitassa enintään 1 cm:n ja pituudessa 30 cm:n tasaavaa luokitusta. Tilavuuden pölkyittäinen mittaustarkkuusvaatimus oli 1,7 %. Mittaustarkkuus oli yleisesti ensisijainen uudelle mittalaitteelle asetettava vaatimus. Kuoren sekä jään ja lumen vaikutuksen korjausmahdollisuus mittaustulokseen arvioitiin myös hyvin merkittäväksi. Tukkien mittauksesta poiketen suora tilavuuskorjaus katsottiin yhtä tarpeelliseksi kuin erillinen korjaus läpimitan kautta. Kuitupuulla ei nähty käyttöä jatkuvalla pölkyn ääriviivakäyrälle, kuten ei myöskään tukilla. Kuvainformaation käyttöä automaattilaadutuksessa pidettiin hyvin merkittävänä mahdollisuutena. Mahdollisuutta hyödyntää kuvainformaatiota etäläadutuksessa ja kuvamuotoisina dokumentteina muun muassa laaturaportoinnissa ei arvioitu merkitykseltään automaattilaadutuksen veroiseksi.

Kuitupuuta käytävillä laitoksilla otantamittaukseen tarvittava työmäärä ja siinä mahdollisesti saavutettavat hyödyt ovat tukkien tarkastusmittaukseen verrattuna moninkertaiset. Tukkien tarkastusmittalaitteeseen katsottiin voitavan investoida 10 000 - 20 000 markkaa. Vastaavaan kuitupuun mittalaitteeseen vastaajat arvioivat voitavan investoida 30 000 - 50 000 markkaa.

Optisen mittalaitteen tarvetta korostavissa vastauksissa toivottiin parannusta sekä mittaustarkkuuteen että työn helpottamiseen.

### **Aiemman tilavuuspainotiedon hyväksikäyttö**

Puutavaran painomittauksessa kuutiointiin käytettävä tilavuuspaino voidaan määrittää jokaisesta erästä erikseen tai käyttää keskimääräistä, otantaan perustuvaa menetelmää. Otoksista määritetyistä tilavuuspainoista on jollain menetelmällä tasoitettava perusmittauksessa käytettävä tilavuuspaino. Yleisin menetelmä tähän on ollut mitattuihin arvoihin perustuva liukuvan keskiarvon käyttö. Tilanteissa, joissa tehtaalle saapuvan puutavaran tilavuuspaino muuttuu nopeasti, esiintyy liukuvaa keskiarvoa käytettäessä tilavuuspainon hitaasta päivittymisestä johtuvaa viivettä ja siitä aiheutuvaa mittausvirhettä.

Osatehtävän tavoitteena oli testata eri mahdollisuuksia keskiarvokäyrien hyväksikäytöstä keskimääräisen tilavuuspainon määrittämisessä. Lisäksi testattiin tilavuuspaino-otantanäytteiden tasoitusta muilla menetelmillä. Testatut menetelmät olivat: rekursiivinen suodatus, liukuva keskiarvo ilman painotusta ja painotettuna, tilavuuspainon keskiarvokäyrät sekä aiempien arvojen liukuvan keskiarvon ja keskiarvokäyrän yhdistelmä. Aineisto koostui vuosina 1998 - 2000 mitatuista mänty- kuusi- ja koivuotannoista.

Liukuva keskiarvo osoittautui helpoksi ja tarkimmaksi menetelmäksi keskimääräisen kuutiopainon laskennassa. Painottamalla viimeisiä arvoja, voidaan liukuvan keskiarvon reagointinopeutta parantaa. Havaintojen välisten painokertoimien määrittäminen aiemmista aineistoista voi kuitenkin viedä harhaan, jos saapuvan puusuman ominaisuudet muuttuvat. Rekursiivisella suodatuksella saatiin liukuvaa keskiarvoa vastaava tulos.

Erilaiset keskiarvokäyrät eivät osoittautuneet vuositason toimiviksi. Niillä päästiin osalla puutavaralajeista kohtuullisen pieneen keskipoikkeamaan mittauksessa, mutta tulos oli harhainen eli kokonaisuutena poikkeuksellista huomattavasti. Aiempien vuosien tilavuuspainon hyväksikäyttöä hankaloittaa se, että eri vuosina keskimääräiset tilavuuspainokäyrät ovat eri kohdissa. Nopeissa muutostilanteissa keskiarvokäyrät saattavat toimia paremmin kuin liukuva keskiarvo, mutta tällaisten muutoskausien tunnistaminen on käytännössä vaikeaa.

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Tutkimuksen tausta

Puutavaran luovutus- ja työmittaukseen tarkoitettujen mittalaitteiden ja mitaushenkilöstön toiminnan tarkastusta varten käytetään yleisesti elektronisia mittasaksia. Mittasaksilla mitataan pölkkyjen läpimitat mittasaksien leukojen aukeaman perusteella. Pölkyn pituus mitataan useimmiten mittanauhalla tai -kepillä, ja tulos tallennetaan mittasaksille.

Otantamittauksen kehittämiseksi on kehitetty mittalaitteita, kuten pölkyittäin mittaava kuitupuun mittaus- ja laadutusasema Oulussa ja Kemissä sekä useilla tehtailla käytettävät upotusaltaat. Mittausasemat ja upotusaltaat soveltuvat lähinnä isojen puumäärien mittaukseen, ja niidenkin mittauksen luotettavuutta on tarkastettava tarkastusmittauksin. Elektroniset mittasakset, joilla mitataan pölkyt joko keskeltä kuutioimalla (kuitupuun) tai 1 m:n pätkissä (tukit) ovat edulliset, mutta paljon työaikaa vaativat mittalaitteet otanta- ja tarkastusmittaukseen.

Otantamittausta voidaan kehittää joko uusia mittalaitteita kehittämällä tai hiomalla olemassa olevia mittausmenetelmiä siten, että mittausta voidaan keventää. Kehittämistarpeita on erityisesti kuitupuun otantamittauksessa. Mikäli kuitupuun otantamittauksessa käytettävän kaikkien pölkkyjen mittauksen sijaan pystyttäisiin keventämään mittausta joiltain osin, saataisiin otantamittauksen kustannuksia alennettua. Tässä tutkimuksessa selvitettiin sekä uusien menetelmien mahdollisuuksia että vanhojen menetelmien kehittämistä.

## 1.2 Tutkimuksen tavoite

Tutkimuksessa selvitettiin mahdollisuudet otantamittauksen kehittämiseen. Ensimmäisenä osatehtävänä selvitettiin kappaleotantamenetelmän kehittämismahdollisuudet. Tällä menettelyllä pyrittiin helpottamaan otantapölkkyjen mittausta vähentämällä otantapölkkyjen määrää. Toiseksi tehtiin matriisikameraan ja kuvatulkintaan perustuvan otantamittalaitteen käyttökelpoisuus- ja tarvekartoitus. Kolmanneksi tarkasteltiin historiatiedon hyväksikäyttöä paino-otantamittauksen kehittämisessä.

Tutkimuksen edessä sen aihealue laajentui kahdella tavoitteen mukaisella osatehtävällä. Matriisikameraan ja kuvatulkintaan perustuva mittaus osoitautui lupaavaksi menetelmäksi, ja sitä kehitettiin projektin alihankintana Tampereen teknillisessä korkeakoulussa. Joensuun yliopiston FL Eero Korpelainen puolestaan teki kuusen paino-otantamittauksen kehittämisestä erillisen jatkotyön. Nämä osatehtävät on raportoitu erikseen.



## 2 KAPPALEOTANTA

### 2.1 Tavoite ja toteutus

Kuitupuun kappaleittaista mittausta käytetään yleisesti otantaan perustuvien mittausten koenippujen mittauksessa sekä totaalimittaukseen perustuvien mittausten kontrollimittauksessa. Menetelmässä mitataan jokaisen pölkyn läpimitta pölkyn puolivälistä sekä pölkyn pituus. Läpimitta on mitattava enintään 1 cm:n tasaavin luokin ja pituus käyttäen enintään 30 cm:n tasaavaa luokitusta. Yksittäisen pölkyn tilavuus lasketaan lieriön kaavalla. Koko koenipun kokonaistilavuutta korjataan sen sisältämien pölkkyjen keskipituuden mukaisella pituuskorjauksella, mikäli nippu sisältää tyvipölkkyjä vähintään 15 % tilavuudesta.

Koenipun tilavuus voidaan määrittää poimimalla nipusta tietyn kokoinen otos, näyte, jonka perusteella lasketaan koko nipun tilavuus. Näytteen koon määrittämiseksi on tunnettava kuitupuunipun tilavuuden vaihtelun varianssi. Näytekoon valinta riippuu halutusta yleistämiseen liittyvästä riskitasosta. Näytteen perusteella pyritään määrittämään keskimääräinen pölkyn koko, ja koko nipun tilavuus saadaan kertomalla erän pölkkyjen lukumäärä keskimääräisellä pölkyn tilavuudella.

Tutkimuksessa simuloitiin mittaustapaa, jossa koenipusta mitataan osa pölkkyistä tarkasti, esimerkiksi 1 metrin pätkissä, ja tämän näytteen perusteella lasketaan koko nipun tilavuus. Keskeisenä tutkimusongelmana oli se, että päästäisiinkö tällä menetelmällä pienemmällä työllä samaan tarkkuuteen koko nipun tilavuuden määrittämisessä kuin jokaisen pölkyn keskuskiintomittauksella.

### 2.2 Aineisto

Aineisto tuotettiin Metsätehon runkopankkitietokannasta. Mänty- ja kuusi-valtaisten avohakkuiden sekä mäntyvaltaisten harvennushakkuiden aineisto koostuu kukin 20 leimikosta ja kuusi-valtaisten harvennushakkuiden aineisto 10 leimikosta. Tarkasteltavat puulajit olivat mänty, kuusi ja koivu. Kunkin leimikon pölkkyistä muodostettiin satunnaisesti 10 - 17 m<sup>3</sup>:n nippuja pölkkyjen hakkuujärjestyksessä. Lopullinen aineisto muodostui 75 mäntynipusta, 171 kuusinipusta ja 31 koivunipusta, jotka sisälsivät 16 160 mänty-, 35 308 kuusi- ja 7 395 koivupölkkyä (taulukko 1).

TAULUKKO 1 Aineiston nipuittaiset ja pölkyttäiset tunnusluvut

		Mänty	Kuusi	Koivu
Nippu, m <sup>3</sup>	Keskiarvo	13,8	13,3	13,8
	Keskihajonta	2,0	2,0	2,1
	Min	10,0	9,9	10,4
	Max	16,9	17,0	16,8
	N	75	171	31
Pölky, dm <sup>3</sup>	Keskiarvo	63,9	64,2	57,8
	Keskihajonta	45,4	40,3	39,3
	Min	7,4	8,0	7,2
	Max	509,8	561,1	383,7
	N	16 160	35 308	7 395

### 2.3 Toteutus

Kullekin puulajille tehtiin seitsemän erilaista systemaattista otantaa. Nipusta valittiin vuorollaan joka toinen, joka kolmas, joka neljäs, joka viides, joka kuudes ja joka seitsemäs pölky. Otantaan valituista pölkyistä estimoitiin kullekin nipulle tilavuus. Eri otannoille estimoituja nippujen tilavuuksia verrattiin kunkin nipun oikeaan tilavuuteen. Tämän avulla saatiin virheprosentti jokaisen nipun tilavuuden estimaatille. Jokaiselle otannalle laskettiin nippujen virheprosenttien keskiarvo ja keskihajonta, joiden avulla määritettiin 95 %:n luottamusväli virheprosentille. Luottamusväli laskettiin kaavalla:

$$\bar{x} \pm t_{\alpha/2;n-1} s / \sqrt{n}, \quad (1)$$

missä  $\bar{x}$  on virheprosenttien keskiarvo,  $n$  on nippujen lukumäärä,  $s$  on virheprosenttien keskihajonta ja  $t_{\alpha/2;n-1}$  on t-jakauman arvo riskitasolla  $\alpha$  ja vapausasteilla  $n - 1$ .

Vastaavat tarkastelut tehtiin puulajeittain nippukohtaisen pölkyjen keskipituuden sekä pituuden hajonnan mukaan. Lisäksi selvitettiin varianssianalyysillä leimikkotyypin (avo- ja harvennushakkuu) vaikutus pölkyjen keski-tilavuuteen.

### 2.4 Tulokset

Populaation tilavuuden estimoinnin tarkkuus koko aineistosta laskettuna on esitetty puutavaralajeittain taulukoissa 2 - 4. Jos mittaustarkkuusvaatimuksena pidetään  $\pm 2$  %:n tarkkuutta ja hyväksytään 5 %:n riski, voidaan se mäntykuitupuulla saavuttaa mittaamalla vähintään joka kolmas pölky. Mittaamalla joka neljäs tai viides pölky päästään luottamusrajan leveydessä  $n. 4$  %:n tasolle, mutta virheprosentin keskiarvon poiketessa nolasta ei  $\pm 2$  %:n taso mahdu luottamusväliin.

TAULUKKO 2 Mäntykuitupuu, koko aineisto

Otantaan valitut pölkkyt	Virheprosenttien keskiarvo	Virheprosenttien keskihajonta	Luottamusvälin alaraja	Luottamusvälin yläraja
joka toinen	-0,01	3,82	-0,89	0,86
joka kolmas	0,16	6,81	-1,41	1,72
joka neljäs	-0,71	7,38	-2,41	0,99
joka viides	1,10	8,74	-0,92	3,11
joka kuudes	-0,34	9,94	-2,63	1,95
joka seitsemäs	0,91	11,38	-1,71	3,53

Kuusikuitupuulla päästiin mittaustarkkuudessa samaan suuruusluokkaan kuin mänyllä. Mittaamalla joka kolmas pölkky päästään koko aineistossa  $\pm 2\%$ :n luottamusrajan leveyteen  $5\%$ :n riskillä.

TAULUKKO 3 Kuusikuitupuu, koko aineisto

Otantaan valitut pölkkyt	Virheprosenttien keskiarvo	Virheprosenttien keskihajonta	Luottamusvälin alaraja	Luottamusvälin yläraja
joka toinen	-0,19	4,28	-0,84	0,46
joka kolmas	0,23	5,88	-0,66	1,12
joka neljäs	-0,35	7,14	-1,43	0,73
joka viides	0,50	8,14	-0,72	1,73
joka kuudes	0,47	8,76	-0,86	1,79
joka seitsemäs	1,35	10,77	-0,27	2,98

Koivukuitupuulla ei päästä samaan tarkkuusluokkaan kuin mänyllä. Mittaamalla joka kolmas pölkky päästään koko aineistossa vähän yli  $3\%$ :n luottamusrajan leveyteen.

TAULUKKO 4 Koivukuitupuu, koko aineisto

Otantaan valitut pölkkyt	Virheprosenttien keskiarvo	Virheprosenttien keskihajonta	Luottamusvälin alaraja	Luottamusvälin yläraja
joka toinen	0,17	3,12	-0,97	1,31
joka kolmas	0,40	4,52	-1,26	2,06
joka neljäs	1,97	7,13	-0,65	4,59
joka viides	-2,13	7,37	-4,84	0,57
joka kuudes	0,64	6,28	-1,66	2,95
joka seitsemäs	-0,57	9,32	-3,98	2,85

Yksittäisen nipun tilavuuden määrittämisessä mittausvirheet olivat suuria (taulukko 5). Mitattaessa otannalla joka toinen pölkky vaihteli mittausvirhe kaikilla puutavaralajeilla keskimäärin kuusen -0,19 %:n aliarviosta koivun 0,17 %:n yliarvioon. Mittausvirheen keskihajonnat vaihtelivat vastaavasti koivulla 3,12 % ja kuusella 4,28 %. Tällöin yhden nipun mittausvirheen 95 %:n luottamusväli olisi puutavaralajista riippuen noin  $\pm 6 - 8$  %. Vastaavasti otettaessa otantaan joka kolmas pölkky kasvaa mittausvirheen 95 %:n luottamusväli koivulla  $\pm 9$  %:iin, kuusella  $\pm 12$  %:iin ja männyllä  $\pm 14$  %:iin. Poimittaessa otantaan joka neljäs pölkky on mittausvirheen 95 %:n luottamusväli kaikilla puutavaralajeilla yli  $\pm 14$  %.

TAULUKKO 5 Nippukohtaisen mittausvirheen tunnusluvut

Otanta		Mänty	Kuusi	Koivu
		%		
Joka toinen pölkky	Keskiarvo	-0,01	-0,19	0,17
	Keskihajonta	3,82	4,28	3,12
	Min	-8,54	-10,95	-5,19
	Max	10,04	9,18	8,94
Joka kolmas pölkky	Keskiarvo	0,16	0,23	0,40
	Keskihajonta	6,81	5,88	4,52
	Min	-21,25	-17,18	-12,78
	Max	20,94	20,64	11,78
Joka neljäs pölkky	Keskiarvo	-0,71	-0,35	1,97
	Keskihajonta	7,38	7,14	7,13
	Min	-19,97	-18,63	-10,54
	Max	17,07	23,49	20,22

## 2.5 Päätelmät

Tutkimuksen perusajatuksena oli mitata osa otantanipusta tarkasti ja laskea tämän otoksen perusteella tilavuus koko nipulle. Noin 20 % pölkkyistä voitiin mitata metrin pätkissä samassa ajassa kuin koko nippu pelkästään keskeltä mitaten. Kuitenkin simuloitujen tulosten perusteella tämäkin otantasuhde tuotti aivan liian ison nippukohtaisen virheen, jotta voitaisiin tarkistaa yksittäisen nipun tilavuutta. Kappaleotanta ei siten sovellu esimerkiksi nippukohtaisen tilavuuden tarkastukseen pinomittauksen yhteydessä. Koko puuerän tilavuuden mittaamiseen sitä kuitenkin voidaan käyttää.

## **3 OTANTAMITTALAITTEET**

### **3.1 Pölkyittäinen optinen mittaus**

Projektissa tehtävä uudentyyppisten otanta- ja tarkastusmittauspölkkyjen mittaukseen käytettävien laitteiden tutkimus sai alkunsa tarpeesta korvata elektroniset mittasakset nopeammalla ja tarkemmalla mittalaitteella. Lähtökohtana oli Tehdasmittaus Oy:ssä kehitetty, viivakameralla ja mittarullalla varustettu, pölkkyä pitkin kuljetettava mittalaite. Tässä hankkeessa selvitettiin mittalaitteen potentiaalisen käyttäjäkunnan tarpeet ja vaatimukset mittalaitteelle.

Projektin aikana mittalaitekehityksessä päätettiin siirtyä viivakameran käytöstä matriisikameralla tapahtuvaan mittaukseen. Tällöin voidaan luopua erillisestä pituusmittapyörästä ja määrittää pölkyn kaikki dimensiot kuvan perusteella. Kyseessä olisi joko kannettava tai esim. sahan lajittelulinjalle kiinteästi asennettu optinen mittalaite, jolla pystyttäisiin mittaamaan yksittäiset puutavarapölkyt nykyistä saksimittausta nopeammin ja tarkemmin.

Mittalaitteen kehitysprojekti jatkui Tampereen teknillisen korkeakoulun mittaus- ja informaatiotekniikan laitoksella tehtävällä mittaustekniikan diplomityöllä. Hankkeen rahoittavat maa- ja metsätalousministeriö, Plustech Oy ja Metsäteho Oy. Hankkeen tuloksena syntyvä diplomityö valmistuu kesällä 2002.

### **3.2 Mittalaitteen käyttökelpoisuus- ja tarvekartoitus**

Matriisikameraan ja kuvatulkintaan perustuvan mittalaitteen käyttökelpoisuus- ja tarvekartoitus tehtiin postikyselynä erikseen tukkien tarkastusmittausta ja kuitupuun otantamittausta koskien. Lisäksi tehtiin yhteinen kysely Ruotsin ja Norjan mittausyhdistysten tutkimuksesta ja kehittämisestä vastaaville henkilöille. Tukkien tarkastusmittausta koskeva kysely lähetettiin 100:lle Metsäteollisuus ry:n ja Suomen Sahat ry:n jäsenyritysten omistamalle sahalle. Kyselyyn saatiin 25 vastausta, jotka edustivat 34 sahaa. Kuitupuun otantamittausta koskeva kysely lähetettiin 40:lle kuitupuuta käyttävälle laitokselle. Kyselyyn tuli 15 vastausta, jotka edustivat 21 tuotantolaitosta.

### **3.3 Tulokset ja päätelmät**

#### **3.3.1 Tukkien tarkastusmittaus**

Kyselyyn vastanneiden sahojen puunkäyttö vuonna 2000 oli yhteensä 11,1 milj. m<sup>3</sup>. Siitä mäntytukkia oli 4,2 milj. m<sup>3</sup>, kuusitukkia 6,2 milj. m<sup>3</sup>, mäntypikkutukkia 490 000 m<sup>3</sup> ja kuusipikkutukkia 210 000 m<sup>3</sup>. Koivun käyttöä aineistossa oli ainoastaan 6 000 m<sup>3</sup>.

Keskimääräinen pölkyn koko oli mäntyukeilla 199 dm<sup>3</sup>, kuusitukeilla 192 dm<sup>3</sup> ja koivutukeilla 183 dm<sup>3</sup>. Pikkutukkien keskimääräiset pölkkykoot olivat männyllä 84 dm<sup>3</sup> ja kuusella 85 dm<sup>3</sup>. Tukkien tarkastusmittauksen otantasuhde ja tarkastusmitattavien pölkkyjen lukumäärä vaihteli puutavaralajeittain taulukon 6 mukaisesti.

TAULUKKO 6 Otantasuhde ja otospölkkyjen määrä puutavaralajeittain

	MÄT	KUT	KOT	MÄPT	KUPT
Otanta / 1 000 pölkkyä	7 (4)	2	13	15	11
Pölkkyä / viikko	81	35	80	243	240

Tukkien tarkastusmittaukseen viikoittain käytettävä ajanmenekki kahden hengen muodostamalle mittausryhmälle laskettuna vaihteli tunnista neljään tuntiin ollen koivutukilla tunti, kuusitukeilla kaksi tuntia, pikkutukeilla kolme tuntia ja mäntyukeilla neljä tuntia. Koko tarkastusmittaukseen käytettyä ajasta käytetään laadun määrittämiseen mäntyukeilla keskimäärin 35 %, kuusitukeilla 27 % ja männyn pikkutukeilla 33 %. Kuusen pikkutukeilla käytetään laadun määrittämiseen selvästi pienempi osuus kokonaisuudesta, vain 18 %.

Optiselta mittalaitteelta edellytetty mittaustarkkuusvaatimus noudatteli nykyisen puutavarapölkkyjen mittaushojeen vaatimuksia. Lämpömittaukselle tarkkuusvaatimus oli yksi mm ja pituuden mittaukselle yksi cm. Tilavuuden mittauksen tarkkuusvaatimus vaihteli 0,5 - 1 prosentin välillä.

Vastaajia pyydettiin arvioimaan uudelle mittalaitteelle asetettavien vaatimusten merkittävyyttä viisiportaisella asteikolla. Asteikon arvot olivat ”ei ollenkaan merkittävästä” (1) ”erittäin merkittävään” (5).

Mittaustarkkuus arvioitiin luonnollisesti kaikkein merkittävimmäksi mittalaitteelle asetettavaksi ominaisuusvaatimukseksi. Kiinteästi asennettuun kameraan liittyvä mahdollisuus käyttää kuvainformaatiota hyväksi automaattisessa laadutuksessa sai keskimäärin merkityksen 3,7 ja manuaalisesti suoritettavassa etälaadutuksessa 3,1. Etälaadutukseen nähtiin olevan mahdollisuuksia erityisesti kuusella, mutta männyllä sitä ei nähty mahdolliseksi. Mahdollisuus käyttää kuvatiedostoja laatu yms. palautteen tukena herätti suurempaa kiinnostusta kuusella kuin männyllä.

Poiskuluneen kuoren lisäysmahdollisuutta sekä vastaavasti jään ja lumen vähennysmahdollisuutta lämpömittauksessa pidettiin välttämättömänä ominaisuutena. Pölkkyittäiselle ääriivivakäyrälle ei nähty tarvetta.

Varsinaista mittauksen ajanmenekkiä tärkeämpänä vastaajat pitivät sitä, että mittaus voitaisiin tehdä yhden henkilön työpanoksella. Tukkien mittaus on toki mahdollista tehdä myös perinteisellä saksimittauksella. Kyseessä olevalla mittalaitteella tehtävälle mittaukselle asetettu tuottavuusvaatimus kentälle levitettyjen tukkien mittauksessa olisi vastaajien mukaan 9,7 m<sup>3</sup> tunnissa. Keskimääräisillä pölkyn tilavuuksilla laskettuna se tarkoittaisi 51 tukin tai 116 pikkutukin mittausta tunnissa. Tällöin yhden viikon otantatukkien mittaus veisi aikaa tunnista kahteen.

Kyselyllä selvitettiin myös, paljonko vastaajat olisivat valmiita investoimaan uuteen mittalaitteeseen olettaen, että tarkastusmittaus voitaisiin jatkossa suorittaa yhden henkilön voimin samassa ajassa kuin aiemmin. Raja myönteisten ja kielteisten vastausten välillä asettuu 10 000 ja 20 000 mk:n väliin (taulukko 7). Hinta vastaa nykyisten elektronisten mittasaksien hintaa.

TAULUKKO 7 Investointihalukkuus mittalaitteen hinnan mukaan

	Mahdollinen investointi, mk				
	3 000	5 000	10 000	20 000	30 000
Kyllä	12	9	8	6	4
Ei	3	3	6	9	13
Mahdollisesti	5	7	5	4	2
Vastauksia	20	19	20	19	19

Suurinta summaa, jonka investointi- ja käyttökustannukset saisivat olla laskettuna perus- ja tarkastusmitattavaa kuutiometriä kohti, ei pystytty määrittämään. Kustannuksia pidettiin merkittävänä laitevalintaa ohjaavana tekijänä ja ne eivät ainakaan saisi nousta nykyisiin mittauskustannuksiin verrattuna.

Yleiset kommentit mittasaksimittauksen korvaamiseen muunlaisella optiseen mittaukseen ja kuvatulkintaan perustuvilla menetelmillä vaihtelivat jyrkän kielteisestä ehdottoman myönteiseen. Myönteisissä kommentissa nähtiin tarpeellisena kiireellisesti korvata mittasakset tarkastusmittauksessa, koska nykyisin tarkastusmittauksen tarkkuus on huonompi kuin perusmittauksen. Suurimpana vaikeutena optisen mittauksen tiellä nähtiin irronneen kuoren sekä jään ja lumen aiheuttamat ongelmat.

### 3.3.2 Kuitupuun otantamittaus

Kyselyyn vastanneiden 21 kuitupuuta käyttävän laitoksen yhteinen puunkäyttö vuonna 2000 oli 21,2 milj. m<sup>3</sup>. Siitä mäntyä oli 7,0 milj. m<sup>3</sup>, kuusta 8,5 milj. m<sup>3</sup>, koivua 5,3 milj. m<sup>3</sup> ja haapaa 400 000 m<sup>3</sup>. Havukuitu on luettu mäntykuitupuuhun. Kuljetusmuodoista yleisin oli autokuljetus, jonka puusta valtaosa mitattiin paino-otanta- tai paino-osite-menetelmillä (taulukko 8).

TAULUKKO 8 Mittausmenetelmät kuljetusmuodoittain

Kuljetusmuoto	Perusmittaus, 1 000 m <sup>3</sup>						
	Kehyskuva	Pinomittaus	Paino-otanta	Kehysotanta	Nippulukuotanta	Muut	Yhteensä
Auto	2 359	3 014	7 939	65		80	13 457
Juna		2 113	470	1 556	1 235	485	5 860
Uitto				566	133		699
Alus		5	1 187	27			1 219
Yhteensä	2 359	5 133	9 596	2 215	1 368	565	21 236

Sekä perus- että otantamittauksesta saatiin tiedot 20,5 milj. m<sup>3</sup>:stä. Upotusmittausta käytävillä ja kuitupuun mittausasemilla varustetuilla tehtailla otantamäärät suhteessa perusmittaukseen ovat huomattavasti suurempia kuin nappulointia käytävillä tehtailla. Eri mittausten menetelmien välillä on luonnollisesti eroja tarvittavan otannan määrässä, esimerkiksi verrattaessa eräkohtaista paino-otantaa paino-ositemittaukseen (taulukko 9). Saman mittausten menetelmän, esimerkiksi pinomittaus ajoneuvossa, sisällä ero selittyy eri otantamittausten menetelmien välisillä kapasiteettieroilla.

TAULUKKO 9 Eri menetelmien käyttö perus- ja otantamittauksessa

Otanta		Perusmittaus, 1 000 m <sup>3</sup>						Yhteensä
		Kehyskuva	Pinomittaus	Paino-otanta	Kehysotanta	Nippuluku otanta	Muut	
Nappulointi	Perus	2 359	2 634	3 997	392			9 382
	Otanta	24	26	49	8			107
Upotus	Perus		856	3 100	1 486	296	165	5 903
	Otanta		26	182	30	8	3	249
Mila	Perus		1597	2 154	337	1 072	80	5 240
	Otanta		40	128	17	45	5	235
Perus yhteensä		2 359	5 087	9 251	2 215	1 368	245	20 525
Otanta yhteensä		24	92	360	55	53	8	591

Läpimitan mittaustarkkuudeksi vastaajat edellyttivät keskimäärin  $\pm 2,1$  mm ja pituuden mittaustarkkuudeksi  $\pm 3,1$  cm. Kuitupuun mittauksessa keskeltä saa käyttää läpimitassa enintään 1 cm:n ja pituudessa 30 cm:n tasaavaa luokitusta. Tilavuuden pölkkyittäinen mittaustarkkuusvaatimus oli joko 2,5 dm<sup>3</sup> tai 1,7 %.

Mittalaitteelle asetettavia vaatimuksia arvioitiin tukkien mittausta vastaavasti. Mittaustarkkuus oli yleisesti ensisijainen uudelle mittalaitteelle asetettava vaatimus. Kuoren sekä jään ja lumen vaikutuksen korjausmahdollisuus mittaustulokseen arvioitiin myös hyvin merkittäväksi. Tukkien mittauksesta poiketen suora tilavuuskorjaus katsottiin yhtä tarpeelliseksi kuin erillinen korjaus läpimitan kautta. Kuitupuulla ei nähty käyttöä jatkuvalle pölkyn ääriivakäyrälle, kuten ei myöskään tukilla.

Kuvainformaation käyttöä automaattilaadutuksessa mittoihin liittyvien tunnusten, kuten esimerkiksi alamittojen osalta, pidettiin hyvin merkittävänä mahdollisuutena. Mahdollisuutta hyödyntää kuvainformaatiota etälaadutuksessa ja kuvamuotoisina dokumentteina mm. laaturaportoinnissa ei arvioitu merkitykseltään automaattilaadutuksen veroiseksi.



Kuitupuuta käytävillä laitoksilla otantamittaukseen tarvittava työmäärä ja siinä mahdollisesti saavutettavat hyödyt ovat tukkien tarkastusmittaukseen verrattuna moninkertaiset. Ne ovat myös valmiita huomattavasti suurempiin panostuksiin. Käsiyövälineeksi tarkoitettuun, kannettavaan mittalaitteeseen vastaajat arvioivat voitavan investoida 30 000 - 50 000 mk. Mittauksen ajanmenekki ja mahdollisuus suorittaa mittaus yhden henkilön voimin arviointiin merkitykseltään suureksi. Muutamat vastaajat totesivat investointien vaativan aina tapauskohtaista laskentaa eivätkä halunneet tässä vaiheessa ottaa kantaa asiaan.

Kiinteästi asennettuun optiseen mittalaitteeseen ollaan valmiita investoimaan enemmän. Esimerkiksi hiomon hajotuspöydälle tai erillisen pölkyttäjään mitta-asemaan asennettuna tämäntyyppinen laite voisi mahdollistaa muun muassa pienten erien totaalimittauksen ja nykyistä paremman laatu-kontrollin.

Vastaajilta kysyttiin myös, näkevätkö he yleisesti tarvetta korvata mittasaksilla tehtävä mittaus muunlaisella, esim. optiseen mittaukseen ja kuvatulkintaan perustuvalla menetelmällä. Niitä vastauksia, joissa ei nähty tarvetta mittasaksilla tapahtuvan mittauksen korvaamiseen, perusteltiin muun muassa tehdyillä ratkaisuilla, joilla vähennetään mittasaksilla tehtävää nappulointia. Tällaisia järjestelyjä ovat muun muassa kurottajavaa'än käyttö, jolloin voidaan pienentää otantaerän kokoa nipusta osanippuun.

Optisen mittalaitteen tarvetta korostavissa vastauksissa toivottiin parannusta sekä mittaustarkkuuteen että työn helpottamiseen. Mittasaksilla tehtävän mittauksen ongelmiksi nähtiin muun muassa huono ergonomia ja työn yksitoikkoisuus. Kiinnostusta on myös kiinteille laitteille tai laitoksille, jolloin päästäisiin pois puunkäsittelykoneita työllistävästä nippujen kentälle levitte-lystä.

## 4 AIEMMAN TILAVUUSPAINOTIEDON HYVÄKSIKÄYTTÖ

### 4.1 Tausta ja tavoite

Puutavaran painomittauksessa kuutiointiin käytettävä tilavuuspaino voidaan määrittää jokaisesta erästä erikseen tai käyttää keskimääräistä, otantaan perustuvaa menetelmää. Määrittämällä tilavuuspaino jokaisesta erästä erikseen, ns. näytepainomittaus, kunkin erän kuutiointi voidaan perustaa juuri siitä laskettuihin arvoihin. Tilavuuspainon määrittäminen kustakin erästä erikseen on kuitenkin resurssija sitovaa ja työlästä. Käytettäessä mittausta suurempien erien vastaanotossa voidaan tilavuuspainon määrittäminen perustaa otantaan.

Paino-otannassa ja ositetussa paino-otannassa eli paino-ositemittauksessa on otoksista määritetyistä tilavuuspainoista jollain menetelmällä tasoitettava perusmittauksessa käytettävä tilavuuspaino. Yleisin menetelmä tähän on ollut mitattuihin arvoihin perustuva liukuvan keskiarvon käyttö. Tilanteissa, joissa tehtaalle saapuvan puutavaran tilavuuspaino muuttuu nopeasti, esiintyy liukuvaa keskiarvoa käytettäessä tilavuuspainon hitaasta päivittymisestä johtuvaa viivettä ja siitä aiheutuvaa mittausvirhettä.

Tutkimuksen tavoitteena oli testata eri mahdollisuuksia keskiarvokäyrien hyväksikäytöstä keskimääräisen tilavuuspainon määrittämisessä. Lisäksi testattiin tilavuuspaino-otantanäytteiden tasoitusta muilla menetelmillä.

### 4.2 Keskimääräisen tilavuuspainon määrittämenetelmät

#### 4.2.1 Rekursiivinen suodatus

Aikasarjojen tasoittamisessa yksinkertaisin tapa määrittää tasoitettu arvo on korvata havaittu arvo painotetulla keskiarvolla

$$g_i = \alpha f_i + (1 - \alpha)g_{i-1} \quad (2)$$

missä  $f_i$  on uusi havaittu arvo,  $g_{i-1}$  viimeisin jo muunnettu arvo ja  $\alpha$  jokin vakio  $0 < \alpha < 1$ . Ensimmäiselle havainnolle kaavaa ei voi käyttää, joten on asetettava esimerkiksi  $g_0 = f_0$ . Alkuarvon merkitys häviää nopeasti havaintojen määrän lisääntyessä.

Mitä lähempänä ykköstä  $\alpha$  on, sitä tarkemmin lopputulos seuraa alkuperäistä käyrää. Kun painoa pienennetään, saadaan tasaisempi käyrä. Haittana on, että samalla myös amplitudi pienenee ja vaihtelussa tapahtuu vaihesiirto. Rekursiivista suodatusta käytävissä sovelluksissa käytetään yleisesti uuden havainnon painona 20 – 30 % eli kerrointa 0,2 – 0,3.

#### 4.2.2 Liukuva keskiarvo

Liukuva keskiarvo tasoituskeinona vastaa ei-rekursiivista alipäästösuodinta. Tasoitetut arvot lasketaan havaintojen keskiarvona

$$g_i = \sum_{k=-K}^K w_k f_i + k, \quad (3)$$

missä painojen summa  $\sum w_k = 1$ . Tasoituksen määrää voidaan säädellä sekä painoilla  $w_k$  että pisteiden määrillä. Kaavan 2 mukainen tasoitus ei aiheuta vaiheen muuttumista. Pyrittäessä samantasoiseen tasoitukseen kuin edellisellä menetelmällä tarvitaan yleensä enemmän pisteitä.

Koska kaavassa 3 tarvitaan sekä menneitä että tulevia arvoja, ei sitä voida käyttää tilavuuspainon määrittämiseen puutavaran painomittauksessa. Liukuva keskiarvo aikaisempien arvojen perusteella lasketaan kaavalla 4.

$$g_i = \sum_{k=0}^{2K+1} w_k f_i - k, \quad (4)$$

Kaavaa neljä käytettäessä saadaan muuten kaavaa kolme vastaava lukusarja, mutta siihen ilmestyy vaihesiirto. Painomittauksessa käytetään yleensä liukuvan keskiarvon laskemista ilman painotusta, ts. kaikkien havaintojen paino keskiarvon laskennassa on sama niiden iästä tai muusta ominaisuudesta riippumatta.

#### 4.2.3 Keskiarvokäyrällä kuutiointi

Laskennat tehtiin neljällä erilaisella keskiarvokäyrällä.

1. Havaintopäivästä taakse- ja eteenpäin laskettujen kymmenen päivän päiväkohtaisten keskiarvojen keskiarvo.
2. Havaintopäivästä taakse- ja eteenpäin laskettujen kahdenkymmenen päivän päiväkohtaisten keskiarvojen keskiarvo.
3. Havaintopäivästä taakse- ja eteenpäin laskettujen kolmenkymmenen päivän päiväkohtaisten keskiarvojen keskiarvo.
4. Havaintopäivän viikkokohtainen keskiarvo.

#### 4.2.4 Aiempien arvojen liukuvan keskiarvon ja keskiarvokäyrän yhdistelmä

Pyrittäessä laskemaan liukuva keskiarvo sekä aiempien että tulevien arvojen perusteella, voidaan tulevat arvot estimoida aiempien vuosien keskiarvokäyrältä. Tässä tutkimuksessa käytettiin tulevien tilavuuspainoarvojen estimointiin edellisistä vuosista laskettuja, havaintopäivästä 30 päivää taakse- ja eteenpäin laskettujen päiväkohtaisten keskiarvojen keskiarvoa.

### 4.3 Aineisto

Aineisto koostui vuosina 1998 – 2000 mitatuista mänty- ja koivuotantojen (Stora Enso Uimaharju) sekä kuusen (Stora Enso Anjalankoski) tilavuuspainoista. Laskentaan valittiin suurimpien toimittajien kollektiivit. Männyn ja koivun aineisto jakautui kahteen ositeluokkaan. Keskiarvokäyrien määrittämiseen käytetyn perusaineiston näytteitä oli eniten männyllä ositeluokassa 1 ja vertailulaskennassa käytettyjä näytteitä kuusiaineistossa (taulukko 10).

TAULUKKO 10 Tilavuuspaino-otantojen määrät

Puulaji	Ositeluokka	Aika	Havaintoa perusaineistossa	Havaintoa vertailussa vuonna 2000
Mänty	1	1.1.1998 - 30.12.1999	1 019	269
	2	1.1.1998 - 30.12.1999	200	69
Kuusi	1	24.4.1998 - 30.12.1999	757	411
Koivu	1	1.1.1998 - 30.12.1999	565	193
	2	1.1.1998 - 30.12.1999	233	101

### 4.4 Toteutus

#### 4.4.1 Laskentamenettely

Kaikilla eri menetelmillä laskettujen tilavuuspainojen avulla tehdyt vertailulaskennat tehtiin vuoden 2000 otantanäytteille. Eri laskentavaihtoehdoilla määritettiin kullekin otantanäytteelle sen perusmittauksessa käytettävä kuutiopaino näytettä edeltävien arvojen perusteella. Edeltävien näytteiden tietojen oletettiin päivittyvän käyttöön ilman viivettä. Tilavuusero laskettiin tilavuuspainojen perusteella seuraavasti:

$$\text{Tilavuusero \%} = - \frac{\text{Tilavuuspaino perus} - \text{Tilavuuspaino tarkastus}}{\text{Tilavuuspaino perus}} * 100$$

Kukin näyte edustaa näin yhtä suurta kuutioitavaa painoa.

Aiempien vuosien tilavuuspainoarvojen vaihtelua ja vastaavuutta vertailuvuoteen selvitetiin varianssianalyysillä.

#### 4.4.2 Laskentavaihtoehdot

Kullekin puulajin ja ositeluokan yhdistelmän nipulle määritettiin perusmittauksen tilavuuspaino seuraavilla vaihtoehdoilla:

1. Rekursiivinen suodatus, uuden havainnon paino 25 %
2. Viisi viimeistä havaintoa, painottamaton liukuva keskiarvo
3. Kymmenen viimeistä havaintoa, painottamaton liukuva keskiarvo
4. Viisi viimeistä havaintoa, painotettu liukuva keskiarvo seuraavien painojen mukaan:

Edellinen havainto	1.	2.	3.	4.	5.
Paino, %	33,3	26,7	20,0	13,3	6,7

5. Kymmenen viimeistä havaintoa, painotettu liukuva keskiarvo seuraavien painojen mukaan:

Edellinen havainto	1.	2.	3.	4.	5.
Paino, %	18,2	16,4	14,5	12,7	10,9

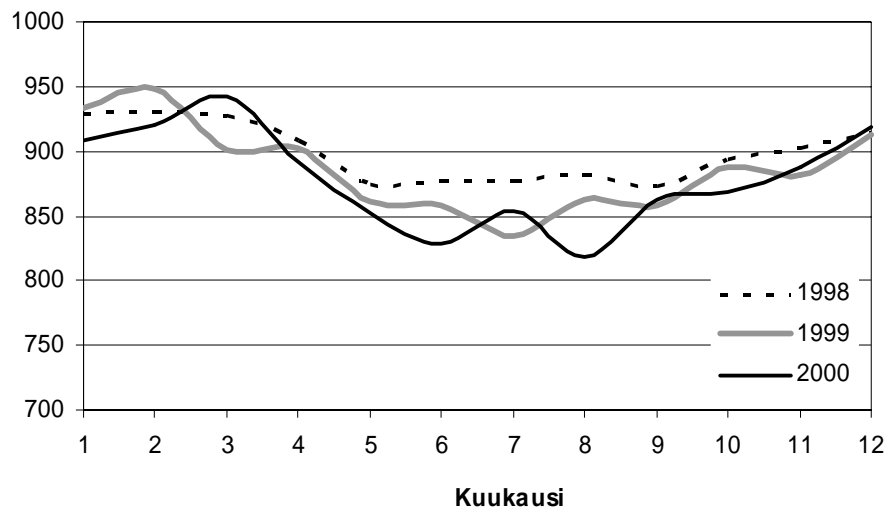
Edellinen havainto	6.	7.	8.	9.	10.
Paino, %	9,1	7,3	5,5	3,6	1,8

6. 10 päivän poikkeamalla laskettu keskiarvokäyrä
7. 20 päivän poikkeamalla laskettu keskiarvokäyrä
8. 30 päivän poikkeamalla laskettu keskiarvokäyrä
9. Viikon keskiarvokäyrä
10. Viiden viimeisen havainnon ja 30 päivän käyrältä estimoitujen viiden tulevan arvon keskiarvo
11. Kymmenen viimeisen havainnon ja 30 päivän käyrältä estimoitujen kymmenen tulevan arvon keskiarvo

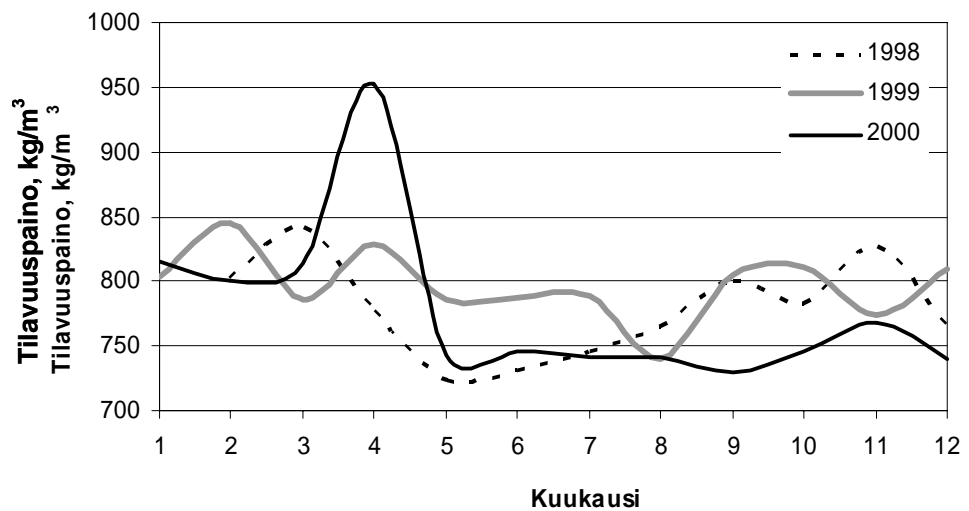
## 4.5 Tulokset

### 4.5.1 Eri vuosien välinen tilavuuspainojen vaihtelu

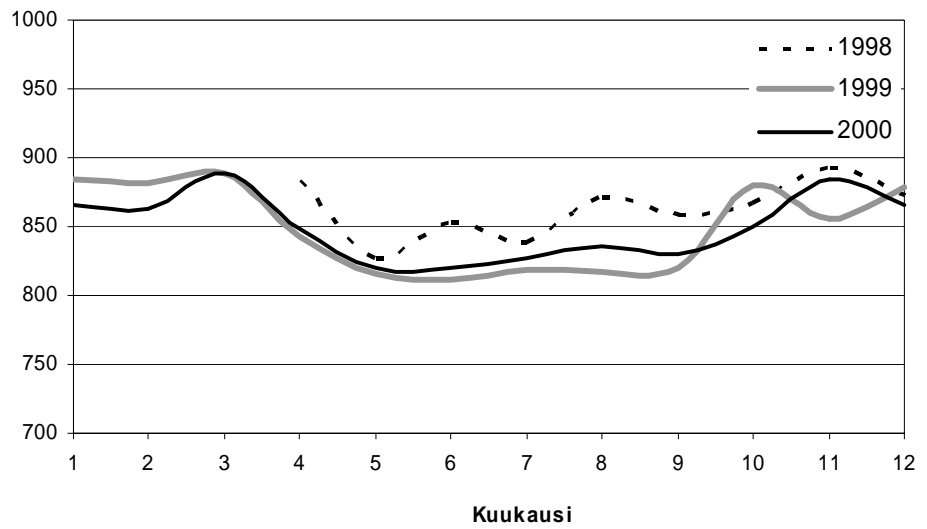
Kuvissa 1 - 5 on esitetty aineiston tilavuuspainon kuukausikeskiarvojen vaihtelu puulajeittain ja painoluokittain. Tilavuuspainokäyrien muoto vuosien välillä näyttää pysyvän melko samanlaisena, mutta eri vuosien välillä esiintyy vaihtelua käyrien paikassa. Eri vuosien välistä eroa testattiin kuukausittain varianssianalyysillä. Saman kuukauden tilavuuspainoero eri vuosien välillä vaihteli tilastollisesti erittäin merkitsevää eroa merkityksettömään eroon.



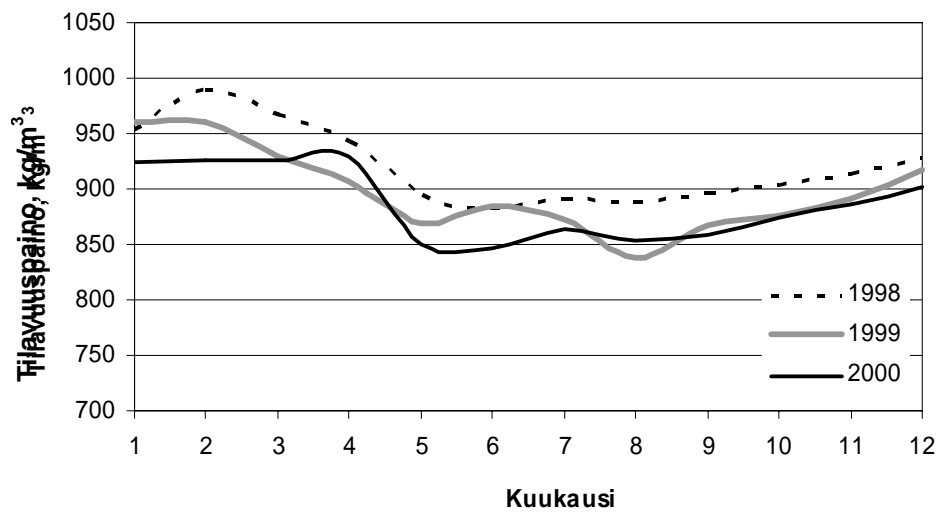
**Kuva 1.** Tilavuuspainon kuukausikeskiarvojen vaihtelu. Mänty, painoluokka 1.



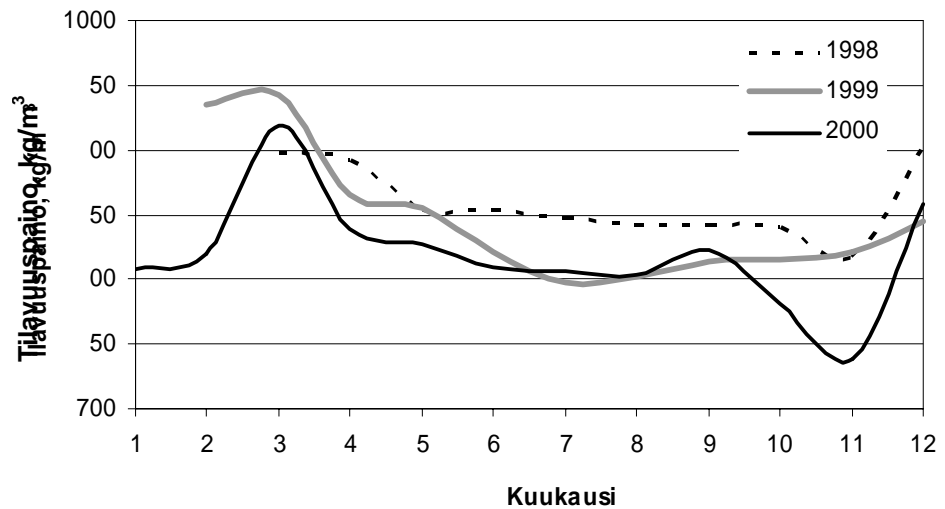
**Kuva 2.** Tilavuuspainon kuukausikeskiarvojen vaihtelu. Mänty, painoluokka 2.



**Kuva 3.** Tilavuuspainon kuukausikeskiarvojen vaihtelu. Kuusi



**Kuva 4.** Tilavuuspainon kuukausikeskiarvojen vaihtelu. Koivu, painoluokka 1.



**Kuva 5.** Tilavuuspainon kuukausikeskiarvojen vaihtelu. Koivu, painoluokka 2.

#### 4.5.2 Mittaerot vuositasolla

Kullekin puulajille laskettiin ositteittain mittaero tarkastuksen (otantatiedot) ja perusmittauksen välillä. Tavanomaisten keskiarvon ja keskihajonnan lisäksi esitetään tunnuslukuna keskipoikkeama eli näytteittäisten virheiden itseisarvojen keskiarvo. Keskipoikkeama osoittaa keskimääräisen yhden näytteen kuutiointissa tapahtuneen virheen. Muina tunnuslukuina esitetään suurimmat näytekohtaiset positiiviset ja negatiiviset poikkeamat.

Tuoreella mäntykuitupuulla (ositeluokka 1) paras tulos saadaan 10 havainnon painotetulla keskiarvolla (taulukko 11). Tällöin vuositasolla ei kokonaismittaerossa ole virhettä. Viiden edellisen näytteen painotetulla keskiarvolla on kokonaisero myös lähellä nollaa ja näytekohtaisen eron keskihajonta on pienin. Tällä määrittävällä on ainoana vaihtoehtona keskimääräinen näytekohtainen absoluuttinen ero alle 4 %. Erot viiden ja kymmenen päivän painottamattomiin keskiarvoihin ovat kuitenkin pieniä. 25 %:n suotimella päästään tarkkaan tulokseen, mutta keskiarvokäyrillä ei yllätä samaan tarkkuuteen. Liukuvan keskiarvon ja ennustekäyrän tarkkuus on pelkkään ennustekäyrään verrattuna parempi, mutta huonompi kuin pelkällä liukuvalla keskiarvolla laskettu.



TAULUKKO 11

## Mäntykuitupuu, ositeluokka 1

Menetelmä	Kokonais-	Keski-	Keski-	Max	Max
	mittaero	hajonta	poikkeama	- ero	+ ero
%					
25 %:n suodin	0,06	6,7	5,1	-20,4	25,4
5 keskiarvo	0,09	7,0	5,3	-20,9	28,3
10 keskiarvo	0,05	6,6	5,0	-21,6	24,6
5 painotettu keskiarvo	-0,04	4,9	3,8	-14,7	17,6
10 painotettu keskiarvo	0,00	5,6	4,2	-18,3	19,9
10 keskiarvokäyrä	-1,29	6,6	5,2	-23,5	27,6
20 keskiarvokäyrä	-1,41	6,5	5,1	-23,2	27,4
30 keskiarvokäyrä	-1,54	6,4	5,0	-22,6	26,8
Viikkokäyrä	-1,31	6,5	5,1	-22,7	26,1
5 ka + ennuste	-0,76	6,5	4,9	-21,7	27,9
10 ka + ennuste	-0,77	6,4	4,8	-21,8	26,2

Mäntykuitupuun ositeluokalla 2 saadaan paras tulos viiden edellisen havainnon painotetulla keskiarvolla, ja seuraavaksi paras kymmenen edellisen havainnon painotetulla keskiarvolla (taulukko 12). Nämä kaksi menetelmää ovat selvästi muita parempia. Tarkkuustaso kaikilla menetelmillä on huomnmpi kuin ositeluokalla 1, eikä millään päästä alle 4 %:n keskipoikkeamaan. Tämä johtuu siitä, että ositeluokkaan 2 luokitetaan eriaisteisesti kuivunutta puuta, jolloin tilavuuspainon vaihtelu on suurempaa kuin painoluokassa 2.

TAULUKKO 12

## Mäntykuitupuu, ositeluokka 2

Menetelmä	Kokonais-	Keski-	Keski-	Max	Max
	mittaero	hajonta	poikkeama	- ero	+ ero
%					
25 %:n suodin	-0,43	8,4	6,5	-19,7	17,9
5 keskiarvo	-0,38	8,6	6,8	-18,6	18,7
10 keskiarvo	-0,43	8,5	6,7	-21,8	17,7
5 painotettu keskiarvo	-0,41	5,8	4,7	-12,8	11,7
10 painotettu keskiarvo	-0,47	6,9	5,4	-17,2	13,9
10 keskiarvokäyrä	-4,07	7,8	6,6	-28,2	18,7
20 keskiarvokäyrä	-4,07	7,8	6,7	-27,5	18,9
30 keskiarvokäyrä	-3,93	7,7	6,5	-26,6	20,2
Viikkokäyrä	-3,44	8,7	7,1	-27,7	23,1
5 ka + ennuste	-2,30	7,8	6,4	-23,0	19,4
10 ka + ennuste	-2,39	8,0	6,4	-24,5	20,6

Kuusikuitupuulla saadaan kaikilla menetelmillä pieni keskipoikkeama (taulukko 13). Kokonaismittaero on kuitenkin keskiarvokäyrillä ja liukuvan keskiarvon ja ennustekäyrän yhdistelmällä huomattavasti suurempi kuin painotetuilla ja liukuvilla keskiarvoilla tai 25 %:n suotimella. Alle 4 %:n keskipoikkeamaan päästään sekä viiden että kymmenen edellisen havainnon painotetuilla keskiarvoilla.

TAULUKKO 13

## Kuusikuitupuu

Menetelmä	Kokonais-	Keski-	Keski-	Max	Max
	mittaero	hajonta	poikkeama	- ero	+ ero
%					
25 %:n suodin	0,01	5,3	4,2	-18,6	20,0
5 keskiarvo	0,03	5,3	4,3	-18,9	17,1
10 keskiarvo	-0,01	5,2	4,2	-17,8	18,2
5 painotettu keskiarvo	-0,04	3,7	3,0	-14,8	11,9
10 painotettu keskiarvo	-0,03	4,3	3,5	-15,7	13,7
10 keskiarvokäyrä	-1,06	5,1	4,2	-18,4	14,7
20 keskiarvokäyrä	-1,07	5,0	4,1	-18,3	14,7
30 keskiarvokäyrä	-1,01	5,0	4,1	-18,1	15,1
Viikkokäyrä	-0,89	5,2	4,2	-17,2	16,4
5 ka + ennuste	-0,51	5,0	4,1	-18,6	16,0
10 ka + ennuste	-0,53	5,1	4,1	-18,1	16,4

Koivukuitupuun ositeluokalla 1 kaikilla menetelmillä päästään alle 5 %:n keskipoikkeamaan, mutta kokonaismittaero on suuri sekä keskiarvokäyrillä että liukuvan keskiarvon ja ennustekäyrän yhdistelmillä (taulukko 14). Painotetuilla keskiarvoilla päästään ainoana alle 4 %:n keskipoikkeamaan ja kokonaismittaerokin on lähellä nollaa.

TAULUKKO 14

## Koivukuitupuu, ositeluokka 1

Menetelmä	Kokonais-	Keski-	Keski-	Max	Max
	mittaero	hajonta	poikkeama	- ero	+ ero
%					
25 %:n suodin	-0,06	5,6	4,3	-18,5	19,8
5 keskiarvo	-0,03	5,8	4,4	-18,9	20,3
10 keskiarvo	-0,10	5,5	4,2	-19,4	20,7
5 painotettu keskiarvo	-0,08	4,0	3,1	-13,2	11,6
10 painotettu keskiarvo	-0,10	4,6	3,5	-16,8	15,5
10 keskiarvokäyrä	-2,98	5,2	4,7	-19,4	16,4
20 keskiarvokäyrä	-3,00	5,1	4,7	-18,6	16,1
30 keskiarvokäyrä	-3,01	5,1	4,7	-18,7	15,3
Viikkokäyrä	-3,10	5,3	4,8	-19,0	15,7
5 ka + ennuste	-1,57	5,3	4,2	-18,9	17,9
10 ka + ennuste	-1,62	5,2	4,2	-18,3	18,3

Koivukuitupuun ositeluokalla 2 tarkkuustaso on kaikilla menetelmillä hie- man huonompi kuin ositeluokalla 1 (taulukko 15). Ero ei kuitenkaan ole yh- tä suuri kuin männyn ositeluokkien välillä. Viiden edellisen painotetulla keskiarvolla päästään ainoana alle 4 %:n keskipoikkeamaan.

TAULUKKO 15

## Koivukuitupuu, ositeluokka 2

Menetelmä	Kokonais-	Keski-	Keski-	Max	Max
	mittaero	hajonta	poikkeama	- ero	+ ero
	%				
25 %:n suodin	-0,28	6,7	5,1	-25,3	20,4
5 keskiarvo	-0,19	6,8	5,1	-25,1	19,0
10 keskiarvo	-0,45	6,5	5,0	-27,1	14,1
5 painotettu keskiarvo	-0,20	4,7	3,5	-18,4	15,1
10 painotettu keskiarvo	-0,36	5,4	4,1	-22,5	13,1
10 keskiarvokäyrä	-2,70	6,1	5,1	-30,7	11,1
20 keskiarvokäyrä	-2,57	6,1	5,2	-29,1	11,1
30 keskiarvokäyrä	-2,71	6,1	5,2	-28,9	11,2
Viikkokäyrä	-2,81	6,2	5,2	-31,2	15,9
5 ka + ennuste	-1,34	6,3	5,0	-28,0	13,2
10 ka + ennuste	-1,31	6,2	4,9	-29,3	12,4

## 4.5.3 Mittaerot kuukausitasolla

Taulukoissa 16 - 20 on esitetty eri menetelmien mittaero kuukausitasolla. Yhteensä sarakkeessa on vuositason kokonaismittaero.

TAULUKKO 16

## Mäntykuitupuu, ositeluokka 1

	Ero % kuukausittain												Yht.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
5 keskiarvo	0,8	0,5	-0,6	-2,5	-0,4	-0,5	1,3	-1,7	0,6	0,3	0,1	0,2	0,1
10 keskiarvo	1,0	0,5	-0,7	-2,2	0,0	-0,5	1,3	-1,7	0,4	0,3	0,0	0,2	0,1
25 suodin	1,0	0,8	-0,8	-3,7	-0,7	-0,6	1,1	-1,3	0,9	0,4	-0,1	0,5	0,1
5 Ka Painotettu	0,6	0,2	-0,7	-1,6	-0,1	-0,4	0,9	-1,7	0,2	0,2	-0,1	0,0	0,0
10 Ka Painotettu	0,9	0,5	-0,8	-2,8	-0,4	-0,5	0,9	-1,5	0,6	0,3	-0,2	0,3	0,0
10 keskiarvokäyrä	-3,0	-2,2	3,3	-1,5	-2,5	-3,6	2,4	-6,7	0,3	-2,2	-0,7	0,0	-1,3
20 keskiarvokäyrä	-2,9	-1,7	3,3	-1,5	-3,5	-3,3	0,7	-6,6	-0,5	-1,8	-1,0	0,4	-1,4
30 keskiarvokäyrä	-2,8	-1,4	2,9	-1,2	-3,8	-3,5	-0,5	-6,1	-0,9	-1,6	-1,2	0,5	-1,5
Viikkokäyrä	-2,4	-2,2	3,6	-2,2	-3,3	-3,9	1,2	-6,2	0,2	-2,0	-1,0	0,9	-1,3
5 ka eteen taakse	-1,0	-0,4	1,2	-1,5	-1,9	-1,9	0,3	-3,9	-0,3	-0,7	-0,7	0,2	-0,8
10 ka eteen taakse	-1,1	-0,1	1,3	-2,2	-2,0	-1,9	0,2	-3,7	-0,2	-0,8	-0,8	0,2	-0,8

TAULUKKO 17

## Mäntykuitupuu, ositeluokka 2

	Ero % kuukausittain												Yht.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
5 keskiarvo	1,0	-2,5	-0,2	16,9	-10,7	-2,4	-0,9	-0,4	-1,6	2,2	2,3	-3,0	-0,4
10 keskiarvo	0,8	-3,5	-2,8	14,1	-10,3	-0,9	-0,9	0,1	-1,5	2,3	2,2	-3,6	-0,4
25 suodin	2,8	-0,9	-1,2	17,1	-10,3	-5,5	-0,7	-0,6	-2,3	2,9	3,3	-3,3	-0,4
5 Ka Painotettu	0,7	-5,1	-1,8	10,5	-7,6	-0,4	-0,6	-0,5	-1,0	1,3	1,0	-2,9	-0,4
10 Ka Painotettu	2,0	-3,3	-1,1	12,9	-9,1	-3,3	-0,5	-0,6	-1,8	2,1	2,3	-3,2	-0,5
10 keskiarvokäyrä	-0,9	0,6	2,7	18,7	0,7	-4,7	-4,2	-3,2	-8,4	-5,4	-3,0	-2,9	-4,1
20 keskiarvokäyrä	-0,1	0,6	2,3	18,9	-0,4	-3,4	-4,8	-3,6	-7,4	-6,1	-2,5	-5,9	-4,1
30 keskiarvokäyrä	1,1	-0,1	1,8	20,2	-1,5	-2,6	-4,7	-4,3	-7,0	-6,4	-2,7	-5,9	-3,9
Viikkokäyrä	-0,9	2,1	4,3	23,1	-1,2	2,0	-3,3	-0,9	-8,7	-5,7	-5,8	0,7	-3,4
5 ka eteen taakse	0,9	-1,7	1,7	19,4	-7,1	-2,4	-2,6	-2,5	-4,7	-2,2	0,0	-5,1	-2,3
10 ka eteen taakse	2,2	0,6	2,7	20,6	-7,6	-5,1	-2,5	-3,0	-5,2	-1,7	0,5	-5,5	-2,4

TAULUKKO 18

## Kuusikuitupuu

	Ero % kuukausittain												Yht.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
5 keskiarvo	-0,1	-0,3	0,6	-0,4	-0,9	0,7	0,8	-0,1	-0,3	0,5	0,2	-0,3	0,0
10 keskiarvo	0,1	-0,3	0,4	-0,3	-0,7	0,6	0,7	-0,1	-0,2	0,3	0,2	-0,1	0,0
25 suodin	-0,2	-0,3	1,0	-0,8	-1,2	1,1	1,0	-0,3	-0,4	0,6	0,5	-0,8	0,0
5 Ka Painotettu	0,0	-0,2	0,1	-0,2	-0,5	0,1	0,4	-0,1	-0,2	0,2	0,1	-0,2	0,0
10 Ka Painotettu	-0,1	-0,3	0,6	-0,6	-0,9	0,5	0,8	-0,2	-0,3	0,4	0,3	-0,5	0,0
10 keskiarvokäyrä	-1,7	-3,4	-0,5	0,6	-0,4	-0,7	-0,1	-0,8	-1,3	-2,7	1,1	-1,4	-1,1
20 keskiarvokäyrä	-1,8	-3,2	0,1	0,3	-0,8	-0,6	-0,2	-0,6	-1,8	-2,5	0,9	-1,4	-1,1
30 keskiarvokäyrä	-2,0	-3,2	0,7	0,6	-1,1	-0,5	-0,3	-0,4	-2,3	-2,1	1,0	-1,3	-1,0
Viikkokäyrä	-2,0	-2,6	-0,2	0,6	0,4	-0,5	-0,1	-1,0	-0,4	-3,1	1,3	-1,1	-0,9
5 ka eteen taakse	-1,0	-1,8	0,7	0,3	-0,9	0,0	0,1	-0,3	-1,3	-1,0	0,5	-0,8	-0,5
10 ka eteen taakse	-1,1	-1,8	1,1	0,1	-1,1	0,1	0,2	-0,4	-1,5	-0,9	0,7	-1,1	-0,5

TAULUKKO 19

## Koivukuitupuu, ositeluokka 1

	Ero % kuukausittain												Yht.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
5 keskiarvo	-0,1	0,2	-0,5	1,1	-2,4	-1,2	0,8	0,4	-0,3	1,0	-0,3	0,3	-0,1
10 keskiarvo	-0,1	0,2	-0,4	0,6	-1,6	-1,1	0,9	0,5	-0,4	1,0	-0,6	0,5	0,0
25 suodin	-0,2	0,3	-0,8	2,2	-4,1	-1,0	1,1	0,2	-0,3	1,3	-0,3	0,5	-0,1
5 Ka Painotettu	-0,1	0,0	-0,2	0,1	-1,1	-0,7	0,6	0,2	-0,3	0,6	-0,6	0,4	-0,1
10 Ka Painotettu	-0,2	0,1	-0,5	1,2	-2,8	-0,8	1,0	0,2	-0,4	1,0	-0,5	0,5	-0,1
10 keskiarvokäyrä	-3,3	-5,0	-2,1	0,2	-4,5	-4,5	-2,9	-3,0	-3,2	-2,7	-1,7	-2,4	-3,0
20 keskiarvokäyrä	-3,4	-4,6	-2,3	0,2	-5,1	-4,1	-2,9	-3,0	-3,2	-2,5	-1,9	-2,4	-3,0
30 keskiarvokäyrä	-3,6	-4,0	-2,3	-0,2	-5,5	-4,4	-2,7	-3,3	-3,2	-2,4	-2,2	-2,4	-3,0
Viikkokäyrä	-3,3	-4,8	-2,8	-0,5	-4,9	-3,8	-2,6	-4,0	-2,7	-2,4	-1,4	-2,9	-3,1
5 ka eteen taakse	-2,0	-1,9	-1,3	0,4	-3,2	-2,7	-0,8	-1,5	-2,0	-0,8	-1,5	-1,4	-1,6
10 ka eteen taakse	-2,2	-1,9	-1,4	1,4	-4,2	-2,7	-0,6	-1,7	-2,1	-0,7	-1,5	-1,6	-1,6

TAULUKKO 20

## Koivukuitupuu, ositeluokka 2

	Ero % kuukausittain												Yht.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
5 keskiarvo	-5,5	-1,4	10,8	-1,5	-0,8	-0,6	0,0	0,5	0,3	-2,7	-3,1	11,8	-0,3
10 keskiarvo	-3,7	-2,9	9,6	-0,4	-0,9	-0,2	0,0	0,4	0,2	-2,6	-3,2	14,5	-0,2
25 suodin	-4,7	-2,2	10,7	-0,5	-1,1	-1,1	-0,1	0,7	0,8	-3,5	-6,1	11,4	-0,4
5 Ka Painotettu	-3,0	-2,4	7,9	-0,8	-0,6	-0,1	-0,1	0,3	0,1	-1,8	-3,9	15,1	-0,2
10 Ka Painotettu	-3,3	-2,1	8,7	-0,6	-0,8	-0,7	-0,1	0,4	0,4	-2,9	-5,4	13,1	-0,4
10 keskiarvokäyrä	-9,0	-9,9	0,1	-3,8	-3,1	-3,0	-1,0	-2,1	-1,1	-5,0	-12,3	-1,0	-2,7
20 keskiarvokäyrä	-10,4	-11,4	-0,8	-3,3	-3,1	-2,9	-1,0	-1,8	-0,9	-5,2	-9,7	1,4	-2,6
30 keskiarvokäyrä	-10,5	-11,7	-0,2	-3,9	-3,2	-3,0	-1,2	-1,8	-0,8	-5,2	-10,1	0,9	-2,7
Viikkokäyrä	-5,9	-9,9	1,0	-4,2	-5,5	-2,9	-1,3	-0,9	-1,2	-4,4	-11,9	-2,2	-2,8
5 ka eteen taakse	-8,0	-4,6	6,7	-0,6	-1,7	-1,3	-0,6	-0,9	-0,1	-4,1	-7,9	3,6	-1,3
10 ka eteen taakse	-7,5	-3,6	8,3	0,2	-1,2	-1,5	-0,6	-0,8	0,2	-4,6	-9,9	1,9	-1,3

#### 4.6 Päätelmät

Liukuva keskiarvo osoittautui helpoksi ja tarkimmaksi menetelmäksi keskimääräisen kuutiopainon laskennassa. Painottamalla viimeisiä arvoja, voidaan liukuvan keskiarvon reagointinopeutta parantaa. Havaintojen välisten painokertoimien määrittäminen aiemmista aineistoista voi kuitenkin viedä harhaan, jos saapuvan puusuman ominaisuudet muuttuvat. Rekursiivisella suodatuksella saatiin liukuvaa keskiarvoa vastaava tulos.

Erilaiset keskiarvokäyrät eivät osoittautuneet vuositason toimiviksi. Niillä päästiin osalla puutavaralajeista kohtuullisen pieneen keskipoikkeamaan mittauksessa, mutta tulos oli harhainen eli kokonaismittaero poikkesi nollasta huomattavasti. Aiempien vuosien tilavuuspainon hyväksikäyttöä hankaloittaa se, että eri vuosina keskimääräiset tilavuuspainokäyrät ovat eri kohdissa. Nopeissa muutostilanteissa keskiarvokäyrät saattavat toimia paremmin kuin liukuva keskiarvo, mutta tällaisten muutoskausien tunnistaminen on käytännössä vaikeaa.