

**Tukin lenkouden mittaus
optisella tukkimittarilla**

**Sakari Suuriniemi
Jari Marjomaa**

Metsätehon raportti 31
2.12.1997

Ryhmähanke:

A. Ahlström Osakeyhtiö, Aureskoski Oy, Enso Oyj, Koskitukki Oy, Kuhmo Oy, Metsähallitus, Metsäliitto Osuuskunta, Pölkky Oy, UPM-Kymmene Oyj, Vapo Timber Oy, Visuvesi Oy

Asiasanat: tukkimittari, lenkous, mittaustarkkuus

Helsinki 1998

TIIVISTELMÄ	3
1 TUTKIMUKSEN TAUSTA JA TAVOITE	4
2 TUTKITUT TUUKKIMITTARIT	4
2.1 AVM 10 -tukkimittari	5
2.2 Opmes 202 -tukkimittari	6
2.3 Lämpimitan ja lenkouden mittauksen periaatteet ja parametrit	6
3 TUTKIMUSAINIESTO	8
3.1 Aineiston määrä ja valinta	8
3.2 Tarkastusmittaus	9
3.3 Mittaus tukkimittarilla	10
4 TULOKSET	11
4.1 Latvalämpimitan mittaustarkkuus	11
4.2 Kuoren kuluneisuuden vaikutus latvalämpimitan mittaustarkkuuteen	11
4.3 Pituuden mittaustarkkuus	12
4.4 Tilavuuden mittaustarkkuus	13
4.5 Lenkouden mittaustarkkuus	14
4.5.1 Tyven vaikutus lenkouden mittaukseen	24
4.5.2 Monivääryyden vaikutus lenkouden mittaukseen	25
4.5.3 Lenkousluokituksen tarkkuus	25
5 PÄÄTELMÄT	26
5.1 Tulokset verrattuna aiempaan Metsätehon tutkimukseen.....	28
5.2 Mittauksen kehittäminen.....	28

TIIVISTELMÄ

Lenkous ja mutka ovat yleisiä vikoja sahatukissa. Sahoilla tukiin lenkous on yleensä arvioitu silmävaraisesti tukkien vastaanottomittauksen ja lajittelun tarpeita varten. Optisten tukkimittareiden käyttö lenkouden automaattisessa mittauksessa on ollut vähäistä mittauksen epätarkkuuden vuoksi. Tutkimuksessa selvitettiin optisten tukkimittareiden lenkouden mittaustarkkuutta ja siihen vaikuttavia tekijöitä sekä pyrittiin löytämään keinoja mittaustarkkuuden parantamiseksi. Lisäksi tarkasteltiin läpimitan, pituuden ja tilavuuden mittaustarkkuutta. Tutkimuksen kohteena olivat AVM 10 -tukkimittari UPM-Kymmene Timberin Kaukaan sahalla ja Opmes 202 -tukkimittarit Enso Timber Oy:n Honkalahden ja Kotkan sahoilla. AVM 10 -tukkimittarin mittaustekniikka perustuu laservalonlähteisiin ja videokameroihin ja Opmes 202 -tukkimittarissa käytetään perinteistä vastavalotekniikkaa. Tutkimusaineisto oli 100 mänty- ja kuusitukkia molemmilla tukkimittarityypeillä. Yhteensä mitattiin 400 tukkia.

Tukkimittareiden läpimitan, pituuden ja tilavuuden mittaustarkkuus oli melko hyvä. Tukkimittarit mittasivat tyvitukit liian pieniksi, mikä johtui tarkastusmenetelmästä ja tyvilaajentuman mittaustavasta. Lenkouden mittaustarkkuus oli AVM 10 -tukkimittarilla huono, mutta Opmes 202 -tukkimittarilla lupautuva. Erityisesti tyvitukkien lenkouden AVM 10 -tukkimittari mittasi huonosti. Tukkien pyörittäminen suurimman lenkouden mittauksen kannalta edullisimpaan asentoon ei parantanut mittaustarkkuutta. Moniväärien tukkien lenkouden mittaustarkkuus ei poikennut muista tukeista.

AVM 10 -tukkimittari mittaa tukiin muodon tarkemmin kuin vastavalotekniikalla toimivat tukkimittarit. Tästä johtuen lenkouden mittaustarkkuutta voitaneen parantaa ohjelmateknisesti. Erityisesti tyvitukkien tyvilaajentuman käsittely lenkouden laskennassa vaatii korjausta. Lenkous tulisi ilmoittaa 0,1 mm:n tarkkuudella. Tukkimittareiden lenkouden laskentaa ohjaavat parametrit ovat erilaisia. Tuloksen käyttö vastaanottomittauksessa edellyttäneen parametrien yhtenäistämistä. Tukkien liikkumista kuljettimella mittauksen aikana on pyrittävä vähentämään. Tukkimittarin pitäisi pystyä erottamaan toisistaan lenkous, monivääryys ja mutka, koska kaksi viimeistä ovat aina tukissa esiintyessään raakkisyyttä, kun taas lenkoutta sallitaan.

1 TUTKIMUKSEN TAUSTA JA TAVOITE

Sahojen optisia tukkimittareita käytetään yleisesti tukkien läpimitta- ja pituuslajitteluun, eräkohtaiseen vastaanotto-, työ- ja luovutusmittaukseen sekä sahojen tuotannonohjaukseen. Metsätehon tutkimuksen mukaan (Metsätehon katsaus 1/1996) tukkimittareiden läpimitan, pituuden ja tilavuuden mittaus-tarkkuus on riittävä työ- ja luovutusmittauksen kannalta, mutta lenkouden mittaus on epätarkkaa.

Lenkous on merkittävä tukin sahaussaantoa rajoittava tekijä. Tukit on lenkouden vuoksi lajiteltava pienempään sahausluokkaan. Tukkien lajittelussa lenkouden määrittäminen tehdään tukista silmävaraisesti. Tukkien laaduttajalla on vain vähän aikaa tukin lenkouden ja muiden laatutekijöiden tarkasteluun tukin liikkuessa lajittelupöydällä, joten maksimilenkouden toteaminen on vaikeaa. Tämän vuoksi optisten tukkimittareiden lenkouden mittaus-tarkkuus tulisi kehittää niin hyväksi, että mittaus-tulosta voidaan luotettavasti hyödyntää tukkien lajittelussa ja vastaanottomittauksessa laatuluokituskriteerinä. Tarkalla lenkouden, monivääryyden ja mutkien automaattisella mittauksella voidaan myös parantaa sahaussaantoa.

Tutkimuksen tavoitteena oli tukin lenkouden automaattisen mittauksen tarkkuuden kehittäminen. Tutkimuksessa selvitettiin lenkouden mittauksen tarkkuutta ja siihen vaikuttavia tekijöitä AVM 10- ja Opmes 202 -tukkimittareilla mitattaessa mänty- ja kuusitukkeja. Tulosten perusteella etsittiin keinoja, joilla lenkouden mittaus-tarkkuus voitaisiin nostaa tyydyttävälle tasolle. Tutkimuksessa tarkasteltiin lisäksi tukkimittareiden latvaläpimitan, pituuden ja tilavuuden mittaus-tarkkuutta sekä kuoren irtoamisesta aiheutuvia ongelmia latvaläpimitan ja tilavuuden mittauksessa. Tutkimukseen valitut mittarit eivät olleet mukana aiemmassa Metsätehon tutkimuksessa.

Tutkimusaineisto kerättiin UPM-Kymmene Timberin Kaukaan sahalla Lappeenrannassa (mänty- ja kuusitukit) ja Enso Timber Oy:n Honkalahden (mänty- ja kuusitukit) ja Kotkan (kuusitukit) sahoilla. Tutkimuksessa toimitettiin läheisessä yhteistyössä laitevalmistajien, Vision Systems Oy:n ja Mikropuu Oy:n, kanssa. Sakari Suuriniemi teki tutkimuksesta opinnäytetyön Helsingin yliopiston Metsävarojen käytön laitokselle.

2 TUTKITUT TUKKIMITTARIT

Jyväskyläläisen Vision Systems Oy:n valmistama AVM 10 -tukkimittari on käytössä UPM-Kymmene Timberin sahan tukkilajittelussa Lappeenrannassa. Sitä käytetään myös tukkien vastaanottomittaukseen. Tukkimittari on asennettu vuonna 1995 valmistuneeseen uuteen lajittelulaitokseen.

Enso Timber Oy:n Honkalahden ja Kotkan sahoilla on tukkilajittelussa käytössä mikkeliiläisen Mikropuu Oy:n valmistama Opmes 202 -tukkimittari. Kotkan sahalla tukkimittari on asennettu keväällä 1997 valmistuneeseen uuteen lajittelulaitokseen. Honkalahden sahalla tukkimittari on sijoitettu vanhalle lajittelukuljettimelle, joka on muutettu vastaamaan eräkohtaisen vastaanottomittauksen tarpeita. Tukkimittari asennettiin vuonna 1992, mutta sen ohjelmistoa on tämän jälkeen kehitetty nykyisten vaatimusten mukaiseksi. Kotkan sahan tukkimittarissa on valmistajan uusin ohjelmistoversio, jossa mm. lenkouden mittausta on parannettu.

2.1 AVM 10 -tukkimittari

AVM 10 -tukkimittarissa on kaksi jatkuvatoimista infrapunalaseriala ja neljä viivakameraa, jotka on asennettu pimennettyyn mittausrakennukseen. Laserit on asennettu tukkikuljettimen molemmille puolille 45°:een kulmaan. Laserivalo piirtää kuljettimella kulkevan tukin kehälle viiden millimetrin vahvuisen valoviivan, josta viivakameroilla otetaan kuva noin 5 cm:n välein (50 kuvaa/s). Mittausjärjestelmän tietokone tulkitsee viivakameroiden rekisteröimät laservaloviivat havaintopisteinä, joiden avulla lasketaan tukin reunaviivat ja muodostetaan tukista kolmiulotteinen kuva. Mittausjärjestelmä laskee tukin sijainnin kuljettimella, läpimitat, tilavuuden, lenkouden ja muut tarvittavat tunnuksat. (Kuva 1)

Tukin pituuden mittaus tapahtuu tukkikuljettimeen asennettujen kahden valokennon ja pulssianturin avulla. Edetessään kuljettimella tukki peittää valokennoista toisen tai molemmat, ja mittausjärjestelmä laskee tukin pituuden pulssien määrän perusteella. Pulssi vastaa 1,3 mm:n pituutta.

Kuva 1. AVM 10 -tukkimittarin mittausperiaate (Vision Systems Oy).

Valmistajan ilmoittamat AVM 10 -tukkimittarin tekniset tiedot:

- kapasiteetti: 12 000 tukkia/vuoro (460 min)
- laserit: teho 500 mW 4 kpl
- kamerat: Visi 1 500 -viivakamera 2 kpl
- mittausalue: läpimitta 600 mm
pituus 8 000 mm
- mittaustarkkuus: halkaisija $\pm 0,6$ mm
pituus ± 10 mm
tilavuus ± 1 %
(automaattinen kalibrointi)
- lämpötila-alueet: viivakamerat ja laserit - 40 + 50 °C
tietokone + 5 + 35 °C

2.2 Opmes 202 -tukkimittari

Opmes 202 -tukkimittarin mittauseriaate perustuu ns. vastavalotekniikkaan. Kahdessa toisiaan vastaan kohtisuorassa mittaussuunnassa on oma mittauselementti, jossa on paraabelipeilin ja halogeenivalon muodostama valolähetinyksikkö sekä valoa vastaanottava valotransistoripalkki. Tukin läpimitta lasketaan erikseen kummassakin mittaussuunnassa valotransistoripalkille muodostuvan tukin ”varjokuvan” perusteella. Tukkimittari mittaa tukin läpimitan 2,5 cm:n välein (kuva 2). Tukin pituus mitataan valokennojen ja pulsianturin avulla kuten AVM 10 -tukkimittarillakin.

Valmistajan ilmoittamat Opmes 202 -tukkimittarin tekniset tiedot:

- kaksisuuntainen läpimitan mittaus 90/270 astetta
- 110 mittausta / sek / mittaussuunta
- mittausalue 512, 640, 768 tai 896 mm
- mittaustarkkuus 2 mm
- kullekin mittaussuunnalle oma prosessori
- häiriönvalvonta
- alemman mittauselementin paineilmapuhdistus

2.3 Lämpimitan ja lenkouden mittauksen periaatteet ja parametrit

AVM 10- ja Opmes 202 -tukkimittareissa on eroja paitsi mittaustekniikassa myös läpimitan ja lenkouden määrittystavassa. Molemmissa tukkimittareissa läpimitan ja lenkouden mittausta ohjataan erilaisilla parametreilla. Niillä voidaan määrittää mm. lenkouden ja kartiokkuuden mittauksen aloitus- ja lopetuskohdat sekä latvalämpimitan hakuetaisyudet. Tukkimittareissa käytetyt parametrit lenkouden, läpimitan ja latvalämpimitan määrittelemiseksi erosivat jonkin verran toisistaan.

Kuva 2. Opmes 202 -tukkimittarin mittausperiaate (Mikropuu Oy).

AVM 10 -tukkimittarin läpimitan mittausperiaate eroaa ns. vastavalotekniikkaan perustuvista tavanomaisista tukkimittareista. Tukkimittari muodostaa tukin poikkileikkauskuvan tietyssä kohdassa viivakameroiden kuvien perusteella. Tukin poikkileikkauskuvan piiriviivan sisään muodostetaan mahdollisimman suuri ympyrä. Poikkileikkauksen keskipisteen kautta piirretään useita erisuuntaisia halkaisijavektoreita, joista viiden lyhyimmän vektorin keskiarvo on tukin läpimitta. Latvaläpimitta haetaan 50 cm:n matkalta tukin latvasta. Tukkimittari mittaa tältä matkalta kymmenen poikkileikkauskuvaa, joista valitaan pienin läpimitta. Jos se on yli 10 % pienempi kuin läpimittojen keskiarvo, käytetään latvaläpimittana kyseistä keskiarvoa.

Opmes 202 -tukkimittari mittaa tukin läpimitat 2,5 cm:n välein. Tilavuuden laskennassa käytettävä läpimitta on mittaussuuntien läpimittojen keskiarvo. Latvaläpimitta saadaan 30 cm:n matkalta latvasta molempien mittaussuuntien pienimpänä läpimittana. Latvaläpimitan mittaus aloitetaan 10 cm:n päästä latvasta.

AVM 10 -tukkimittarissa koko tukin lenkouden mittauksen aloituskohta on sekä tyvitukeilla että muilla tukeilla 95 cm:n päässä tyvestä ja lopetuskohtana on tukin latva. Lenkous saadaan tukin keskilinjan suurimpana poikkeamana mittauksen alku- ja loppupisteitä yhdistävästä janasta. Tukkimittari mittaa myös 3 m:n jännteeltä mitatun lenkouden. Se määritetään liu'uttamalla jännettä tukin pituudelta (poislukien 95 cm tyvestä) ja hakemalla jänteen keskeltä suurin lenkous. Tällä lenkoustunnuksella pyritään tunnistamaan tarkemmin mutkaiset tukit, joita ei pystytä sahaamaan.

Opmes 202 -tukkimittarissa lenkouden aloitus- ja lopetuskohdat ovat 25 cm:n päässä tukin tyvestä ja latvasta. Lenkouden aloituskohdan tukkimittari valitsee 10 cm:n matkalta, jotta tukin keskilinjaa ei sijoiteta väärin esimerkiksi oksakryhmyntä. Koko tukin lenkous määritetään kuten AVM 10 -tukkimittarilla keskilinjan suurimpana poikkeamana. Männyn A-laadun tyvitukilla lenkouden mittauksen aloituskohta on 90 cm:n päässä tyvestä.

3 TUTKIMUSAINEISTO

3.1 Aineiston määrä ja valinta

Tutkimusaineisto kerättiin helmi-toukokuussa 1997. Mänty- ja kuusitukkeja oli kultakin tukkimittarilta 100 tukkia/puulaji/tukkimittari eli yhteensä 400 tukkia. Kaukaan sahalla kuusitukkeja mitattiin 22,2 m³ ja mäntyukkeja 22,8 m³. Honkalahden sahalla mäntyukkeja mitattiin 18,8 m³ ja Kotkan sahalla kuusitukkeja 17,8 m³.

Aineistoon valittiin lenkouden ja mutkaisuuden vuoksi raakattuja tukkeja, sallitun lenkouden (1 cm/m) sisältäviä tukkeja ja suorja tukkeja (asetelma 1, taulukko 1). Tukit poimittiin sahojen tukkikentän raakkikasoista, kontrollilokeroista ja varastopinoista.

Asetelma 1 Tutkimusaineiston määrä ositteittain, kpl

	Lenko ja mutka		Suora	
	tyvitukki	muu tukki	tyvitukki	muu tukki
Raakit	30	25	-	-
Kontrollitukit	15	10	10	10

TAULUKKO 1 Lenkouden vaihtelu aineistossa

Tukki- mittari	Puulaji	Keski- arvo	Keski- hajonta	Pienin arvo	Suurin arvo
		mm			
AVM	Kuusi	20,63	12,47	1	63
	Mänty	27,25	14,67	3	76
Opmes	Kuusi	26,76	14,39	4	73
	Mänty	25,00	13,02	3	68

3.2 Tarkastusmittaus

Tukit levitettiin tarkastusmittausta varten tukkitelosten päälle. Tukki pyöritettiin sellaiseen asentoon, että suurin lenkous oli mitattavissa. Tukit numeroitiin ja niihin merkittiin suurimman lenkouden suunta. Tukan lenkous ja muut tunnuksot mitattiin manuaalisesti tukkimittarin mittaustapaa jäljitellen elektronisia mittasaksia, metsurimittaa ja siimaa käyttäen.

Kustakin tukista mitattiin ja rekisteröitiin seuraavat tunnuksot:

- suurin lenkous/mutka koko tukan pituudelta, mm
- suurin lenkous/mutka 3 m:n pituudelta, mm (vain AVM 10 -tukkimittarilla)
- lenkouden/mutkan sijainti tyvestä, cm (molemmat lenkouden mittaustavat)
- tukan pituus, cm
- tukan läpimitat ristiin mitaten 0,5 m:n välein, mm
- tyviläpimita ristiin mitaten, mm
- latvaläpimita ristiin mitaten, mm (tukkimittarin mittaustapaa jäljitellen)
- tukkilaji (tyvi-, väli-, latvatukki)
- laatuluokka
- lumisuus/jäisyys, % (peittävyys vaipan alasta 5 %:n tarkkuudella)
- kuoriutuneisuus, % (kuoreton alue vaipan alasta 5 %:n tarkkuudella)
- kuoren paksuus, mm
- kuoren kuluneisuus latvassa, % (kuoreton osa piiristä)

AVM 10 -tukkimittarin aineistossa tukin latvaläpimitta mitattiin etsimällä tukin latvasta lähtien 0,5 m:n pituudelta pienin läpimitta, josta rekisteröitiin ristiin mittausten keskiarvo. Tukin pituus mitattiin tarkastusmittauksessa metsurimitalla 1 cm:n tarkkuudella tukkimittarin mittaustapaa jäljitellen. Tukkien tilavuus laskettiin ristiin mitatuista läpimitoista 0,5 m:n pätkissä katkaistun kartion kaavalla. Läpimittojen mittausta aloitettiin tyvestä.

AVM 10 -tukkimittarin aineistossa lenkoudet mitattiin koko tukin pituudelta ja 3 m:n jänteeltä etsittynä suurimpana lenkoutena. Koko tukin lenkous mitattiin tukin keskiviivan poikkeamana tukin tyvi- ja latvaleikkausten keskipisteiden välille vedetystä janasta. Tyveltä jätettiin huomioimatta 95 cm:n pituinen osa. Lenkous 3 m:n jänteellä määritettiin kuten koko tukin lenkous. Jänne asetettiin suurinta lenkoutta vastaavaan kohtaan ja lenkous mitattiin jänteen keskeltä.

Opmes 202 -tukkimittarin aineistossa latvaläpimitta mitattiin 30 cm:n pituudelta latvasta mittaussuuntien pienimpänä havaintona. Mittaus aloitettiin 10 cm:n päästä latvasta. Tukin pituus ja tilavuus mitattiin samoin kuin AVM 10 -tukkimittarin aineistossa. Lenkous mitattiin koko tukin lenkoutena kuten AVM 10 -tukkimittarin aineistossa, mutta sekä tyveltä että latvasta jätettiin huomioimatta 30 cm.

3.3 Mittaus tukkimittarilla

Opmes 202 -tukkimittarin lenkouden ja latvaläpimitan mittausta ohjaavat parametrit asetettiin samoiksi molemmilla sahoilla aineiston mittausten ajaksi. AVM 10 -tukkimittarin mittausta ohjaavia parametreja ei muutettu aineiston mittausta varten.

Tukkierät mitattiin tukkimittareilla kahteen kertaan. Ensimmäisellä mittauskerralla tukit käännettiin kuljettimella ennen tukkimittaria suurimman lenkouden suunnan suhteen vaakatasoon, joka etukäteen arvioiden oli mittaus-tarkkuuden kannalta paras mittaussuunta. Toisella mittauskerralla tukit kuljivat tukkimittarin läpi satunnaisissa asennoissa. Tukkimittareiden kaikki mittaustulokset tallennettiin molemmilla mittauskerroilla tietokoneen muistiin.

Tukkierät säilytettiin mittausten jälkeen mahdollisia tarkistuksia varten. Kotkan sahan kuusitukkiaineistosta jäi kaksi tukkia mittaamatta toisella mittauskerralla, koska ne menivät poikki lajittelulokeroon pudotessaan. Muutamia selvästi poikkeavia mittaushavainnoja poistettiin aineistosta ennen tulosten laskentaa, jotta ne eivät vääristäisi tuloksia. Ne johtuivat todennäköisesti tukin heilahtamisesta tukkimittarin mittausten aikana.

4 TULOKSET

4.1 Latvaläpimitan mittaustarkkuus

Latvaläpimitan mittaus oli molemmilla tukkimittareilla melko tarkkaa (taulukko 2). Latvaläpimitan keskimääräiset mittauserot ja erojen keskihajonta olivat pieniä. AVM 10 -tukkimittarilla latvaläpimita oli keskimäärin hieman tarkastusmittausta pienempi ja Opmes 202 -tukkimittarilla 0,7 - 1,4 mm tarkastusmittausta suurempi. AVM 10 -tukkimittarilla erojen keskihajonnat olivat suuremmat kuin Opmes 202 -tukkimittarilla. Molemmilla puulajeilla ja tukkimittareilla latvaläpimita pieneni toisella mittauskerralla, mikä todennäköisesti johtui kuoren kulumisesta tukkien käsittelyssä.

TAULUKKO 2 Latvaläpimitan mittaustarkkuus

Tukki- mittari	Puulaji	Mittaus	Keski- arvo	Keski- hajonta	Pienin ero	Suurin ero	Otoksen koko
			mm				kpl
AVM	Kuusi	1	0,84	3,67	-9	9	97
		2	-0,42	3,70	-9	7	96
	Mänty	1	-0,04	3,89	-10	9	95
		2	-0,84	3,85	-9	10	95
OPMES	Kuusi	1	1,43	3,04	-6	9	95
		2	1,03	3,29	-8	7	96
	Mänty	1	0,78	2,93	-7	9	98
		2	0,72	3,32	-7	9	96

4.2 Kuoren kuluneisuuden vaikutus latvaläpimitan mittaustarkkuuteen

Tarkastusmittauksessa latvaläpimitan mittauskohdalta kirjattiin kuoren kuluneisuus siten, että arvioitiin kuoreton osuus tukin piiristä. Myös kuoren paksuus rekisteröitiin. Tunnusten avulla pyrittiin selvittämään kuoren irtoamisesta aiheutuva virhe kuorellisen latvaläpimitan määrityksessä. AVM 10 -tukkimittarin aineistossa kuoren kuluneisuus oli kuusitukilla keskimäärin 20 % ja mäntyukilla 36 %. Kuoren paksuudet olivat keskimäärin kuusitukilla 4 mm ja mäntyukilla 3 mm. Opmes 202 -tukkimittarin aineistossa kuoren kuluneisuus oli vastaavasti kuusitukilla 16 % ja mäntyukilla 27 % ja kuoren paksuudet molemmilla puulajeilla keskimäärin 4 mm.

AVM 10 -tukkimittarilla latvaläpimitan mittausero ja kuoren kuluneisuus korreloivat molemmilla puulajeilla erittäin vähän. Mittausero muuttui kuusitukilla jopa lievästi positiiviseksi kuoren irtoamisprosentin kasvaessa. Opmes 202 -tukkimittareilla ei myöskään havaittu selvää mittauseron muutosta kuoren kuluneisuuden kasvaessa. AVM 10 -tukkimittarin latvaläpimitan mittauseroon vaikuttivat erityisesti mäntyukilla tukin järeyys ja kuoren paksuus. Järeiden ja kuoren paksuuden kasvaessa mittausero muuttui negatiiviseksi. Opmes 202 -tukkimittarilla ei vastaavaa havaittu.

4.3 Pituuden mittaustarkkuus

AVM 10 -tukkimittari mittasi pituuden keskimäärin noin 2 cm tarkastusmittausta pienemmäksi. Opmes 202 -tukkimittari mittasi kuusitukit tarkasti. Mäntytukin pituuden mittaustulos oli keskimäärin hieman tarkastusmittausta pienempi (taulukko 3). AVM 10 -tukkimittarilla eivät puulaji, mittauskerta tai tukkilaji (tyvitukki, muu tukki) vaikuttaneet merkittävästi mittaustarkkuuteen. Kotkan sahan Opmes 202 -tukkimittarilla oli pituuden mittauseron vaihtelu pienempi kuin Honkalahden sahan mittarilla (taulukko 4).

TAULUKKO 3 Pituuden mittaustarkkuus

Tukki- mittari	Puulaji	Mittaus	Keski- arvo	Keski- hajonta	Pienin ero	Suurin ero	Otoksen koko
			cm				kpl
AVM	Kuusi	1	-2,48	1,12	-4	1	96
		2	-2,32	1,09	-5	1	97
	Mänty	1	-2,25	1,09	-4	2	96
		2	-2,28	1,11	-4	2	99
OPMES	Kuusi	1	0,08	0,85	-1	3	98
		2	0,17	0,97	-2	3	98
	Mänty	1	-0,70	1,38	-3	2	98
		2	-0,65	1,56	-3	3	98

TAULUKKO 4 Pituuden mittaustarkkuus tukkilajeittain

Tukki- mittari	Tukkilaji	Mittaus	Keski- arvo	Keski- hajonta	Pienin ero	Suurin ero	Otoksen koko
			cm				kpl
AVM	Kuusi, tyvi	1	-2,21	1,23	-4	1	49
		2	-2,14	1,32	-5	1	49
	Kuusi, muu	1	-2,75	0,94	-4	0	47
		2	-2,56	0,86	-4	0	49
	Mänty, tyvi	1	-2,09	1,09	-4	2	48
		2	-2,17	1,15	-4	1	50
	Mänty, muu	1	-2,44	1,11	-5	2	49
		2	-2,38	1,08	-4	2	49
OPMES	Kuusi, tyvi	1	0,14	0,90	-1	3	57
		2	0,39	1,05	-2	3	57
	Kuusi, muu	1	0,00	0,77	-1	2	41
		2	-0,12	0,78	-2	1	41
	Mänty, tyvi	1	-0,45	1,40	-2	2	51
		2	-0,55	1,71	-3	3	51
	Mänty, muu	1	-0,98	1,31	-3	2	47
		2	-0,77	1,39	-3	2	47

4.4 Tilavuuden mittaustarkkuus

Tilavuuden mittaustarkkuus oli AVM 10 -tukkimittarin kaikilla erillä keskimäärin hieman pienempi kuin tarkastusmitattu tilavuus (taulukko 5).

TAULUKKO 5 Tilavuuden mittaustarkkuus, eräkohtainen tilavuus

Tukki- mittari	Puulaji	Mittaus	Tilavuus- ero	Keski- hajonta	Pienin ero	Suurin ero	Otos
			%				kpl
AVM	Kuusi	1	-0,64	1,89	-5,7	3,5	100
		2	-0,73	1,90	-5,0	3,7	100
	Mänty	1	-1,44	1,72	-4,9	2,4	100
		2	-2,01	1,88	-6,6	3,4	100
OPMES	Kuusi	1	-0,78	3,48	-14,9	10,1	97
		2	-1,27	2,93	-17,6	4,0	97
	Mänty	1	-3,60	2,66	-10,9	3,4	99
		2	-4,16	2,74	-11,4	1,0	99

Toisella mittauskerralla tilavuus oli pienempi kuin ensimmäisellä, mikä johtui kuoren kulumisesta tukkeja käsiteltäessä. Tilavuuserojen keskihajonnat olivat molemmilla puulajeilla pienet.

Opmes 202 -tukkimittari Kotkan sahalla mittasi kuusitukit keskimäärin hieman tarkastusmittausta pienemmäksi (taulukko 5). Honkalahden sahalla mitaustulos oli keskimäärin lähes 4 % tarkastusmittausta pienempi. Toisella mittauskerralla erän tilavuus oli noin 0,5 % pienempi kuin ensimmäisellä mittauskerralla ja ylitti sallitun mittauseron ± 4 %. Tyvitukeilla keskimääräinen tilavuusero ja tilavuuseron keskihajonta olivat suurempia kuin muilla tukeilla (taulukko 6). Tilavuuserojen keskihajonnat olivat Opmes 202 -tukkimittarilla suurempia kuin AVM 10 -tukkimittarilla.

TAULUKKO 6

Tilavuuden mittaustarkkuus tukkilajeittain

Tukki- mittari	Puutavara- laji	Mittaus	Tilav.- ero	Keski- hajonta	Pienin ero	Suurin ero	Otos
			%				kpl
AVM	Kuusi, tyvi	1	-0,30	1,86	-4,5	3,5	51
		2	-0,49	1,86	-4,1	3,7	51
	Kuusi, muu	1	-1,07	1,87	-5,7	2,9	49
		2	-1,04	1,91	-5,0	2,5	49
	Mänty, tyvi	1	-2,02	1,68	-4,9	2,4	50
		2	-2,89	1,64	-6,6	0,2	50
	Mänty, muu	1	-0,77	1,50	-3,7	2,3	50
		2	-1,00	1,64	-5,2	3,4	50
OPMES	Kuusi, tyvi	1	-0,94	4,02	-14,9	10,1	56
		2	-1,39	3,30	-17,6	3,8	56
	Kuusi, muu	1	-0,56	2,56	-5,9	6,6	41
		2	-1,09	2,36	-8,4	4,0	41
	Mänty, tyvi	1	-5,12	2,38	-10,9	-1,1	51
		2	-5,85	2,40	-11,4	-1,1	51
	Mänty, muu	1	-1,95	1,78	-5,6	3,4	48
		2	-2,31	1,64	-5,1	1,0	48

4.5 Lenkouden mittaustarkkuus

Lenkouden mittaustarkkuutta tarkasteltiin usealla eri tavalla: lenkouden keskimääräiset erot ja erojen keskihajonnat, tukkimittarin ja tarkastustuloksen välinen korrelaatio sekä mittauskertojen väliset korrelaatiot.

AVM 10 -tukkimittarilla lenkouden mittauserot olivat keskimäärin melko pienet lukuun ottamatta kuusitukin toista mittauskertaa. Mittauserojen keskihajonnat olivat kuitenkin suuria; koko tukin lenkoudessa 11 - 13 mm ja 3 m:n pätkän lenkoudessa 7 - 8 mm (taulukot 7 ja 9). Tukin pyörittäminen lenkouden mittauksen kannalta parempaan asentoon ei tuottanut odotettua tulosta, sillä mittauksen tarkkuus ei parantunut. Myöskään puulajien välillä ei ollut eroa lenkouden mittaustarkkuudessa. Mäntytukeista 6 %:lle tukkimittari ei laskenut lenkousarvoa kummallakaan mittauskerralla, vaikka kyseiset tukit olivat lenkoja. Näitä tukkeja ei otettu mukaan keskiarvon ja -hajonnan laskentaan.

Lenkouden mittaustarkkuus oli molemmilla Opmes 202 -tukkimittareilla melko hyvä (taulukko 7). Keskimääräiset mittauserot olivat pieniä ja mittauserojen keskihajonnat 5 - 6 mm. Tukin pyörittäminen lenkouden mittauksen kannalta parempaan asentoon ei tälläkään tukkimittarilla parantanut tarkkuutta. Mittauserojen keskihajonta oli kuusitukilla suurempi kuin mäntytukilla.

AVM 10 -tukkimittari tulostaa lenkouden ainoastaan tukin pituuden suhteen, mm/m ja tulos ilmoitetaan vain 1 mm:n tarkkuudella (Opmes 202 -tukkimittarilla 0,1 mm:n tarkkuus). Esitystarkkuudesta aiheutuu koko tukille laskettua lenkoutta tarkasteltaessa AVM 10 -tukkimittarille suurempi virhe kuin Opmes 202 -tukkimittarille, joten lenkouden mittaustarkkuus laskettiin molemmille tukkimittareille myös kyseisen suhteellisen tunnuksen mukaan (taulukot 8 ja 10). Tunnusten laskentaan otettiin samat tukit kuin koko tukin lenkouden laskennassakin. Tulokset osoittautuivat samanlaisiksi myös suhteellisella lenkoustunnuksella laskettuna.

TAULUKKO 7 Lenkouden mittaustarkkuus, koko tukki

Tukki- mittari	Puulaji	Mittaus	Keski- arvo	Keski- hajonta	Pienin ero	Suurin ero	Otoksen koko
			mm				kpl
AVM	Kuusi	1	0,13	11,09	-27	29	95
		2	5,83	12,12	-30	35	96
	Mänty	1	0,04	13,35	-28	31	93
		2	-1,18	11,75	-33	31	94
OPMES	Kuusi	1	-0,44	6,25	-15	11	95
		2	1,11	5,85	-10	13	96
	Mänty	1	0,93	5,31	-14	18	96
		2	0,81	5,66	-15	15	96

TAULUKKO 8 Lenkouden mittaustarkkuus, koko tukki, mm/m

Tukki- mittari	Puulaji	Mittaus	Keski- arvo	Keski- hajonta	Pienin ero	Suurin ero	Otoksen koko
			mm				kpl
AVM	Kuusi	1	0,09	3,45	-7	7	95
		2	1,59	3,22	-8	10	96
	Mänty	1	0,06	3,49	-8	9	93
		2	-0,29	3,02	-7	9	94
OPMES	Kuusi	1	-0,27	1,80	-4	4	95
		2	0,16	1,50	-3	4	96
	Mänty	1	0,47	1,48	-3	7	96
		2	0,26	1,50	-4	4	96

TAULUKKO 9 Lenkouden mittaustarkkuus, 3 m:n pätkä, AVM 10

	Puulaji	Mittaus	Keski-	Keski-	Pienin	Suurin	Otoksen koko
			arvo	hajonta	ero	ero	
			mm				kpl
Lenkous, 3 m	Kuusi	1	-1,79	7,47	-21	20	98
		2	0,94	7,10	-20	23	96
	Mänty	1	-1,02	8,46	-18	24	94
		2	-0,66	8,08	-20	28	93

TAULUKKO 10 Lenkouden mittaustarkkuus, 3 m:n pätkä, mm/m, AVM 10

	Puulaji	Mittaus	Keski-	Keski-	Pienin	Suurin	Otoksen koko
			arvo	hajonta	ero	ero	
			mm				kpl
Lenkous, 3 m	Kuusi	1	-0,60	2,49	-7	7	98
		2	0,31	2,37	-7	8	96
	Mänty	1	-0,41	2,82	-6	8	94
		2	-0,46	2,69	-7	9	93

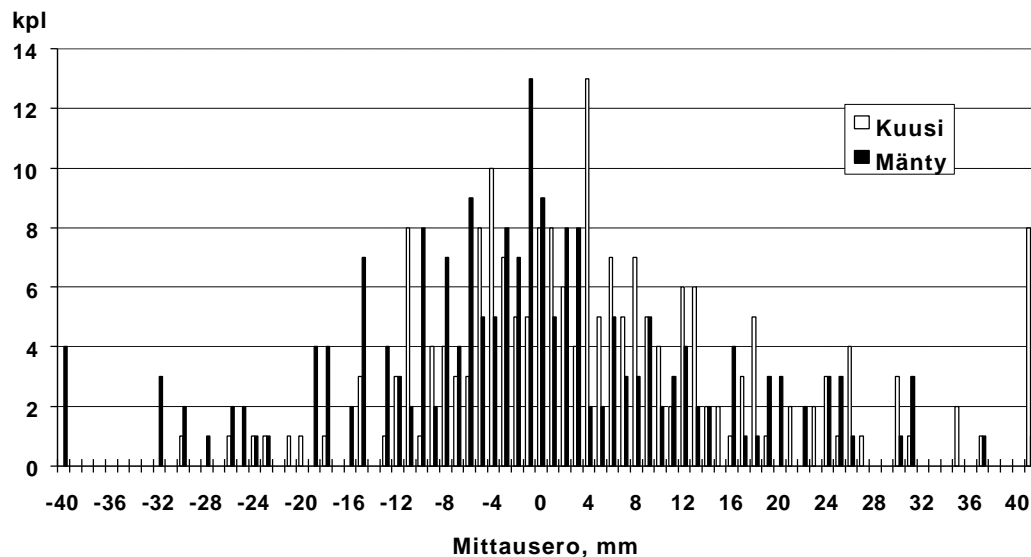
AVM 10 -tukkimittarilla koko tukin lenkouden mittauserojen vaihtelu oli suuri molemmilla puulajeilla. Suuria positiivisia mittauseroja oli enemmän kuin negatiivisia eroja (kuva 3). Korrelaatiokertoimet tarkastusmittauksen ja tukkimittarin mittauksen välillä olivat pieniä molemmilla puulajeilla ja mittauseroilla. Kuusitukilla korrelaatiokertoimet olivat ensimmäisellä mittauskerralla 0,23 ja toisella mittauskerralla 0,29. Mäntytukilla korrelaatiokertoimet olivat vastaavasti 0,32 ja 0,39 (kuvat 5 - 8, s. 18 - 19). Korrelaatiokertoimien tarkastelun perusteella tukin pyörittäminen ei parantanut mittaustulosta. Mittauskertojen välinen riippuvuus koko tukin lenkoudessa oli kuusitukilla suurempi kuin mäntytukilla (kuvat 9 ja 10, s. 20).

Koko tukin lenkous ja 3 m:n jänteeltä mitattu lenkous korreloivat kohtalaisesti. Korrelaatiokertoimet olivat kuusitukilla (0,55 ja 0,57) molemmilla mittauseroilla pienemmät kuin mäntytukilla (0,66 ja 0,71).

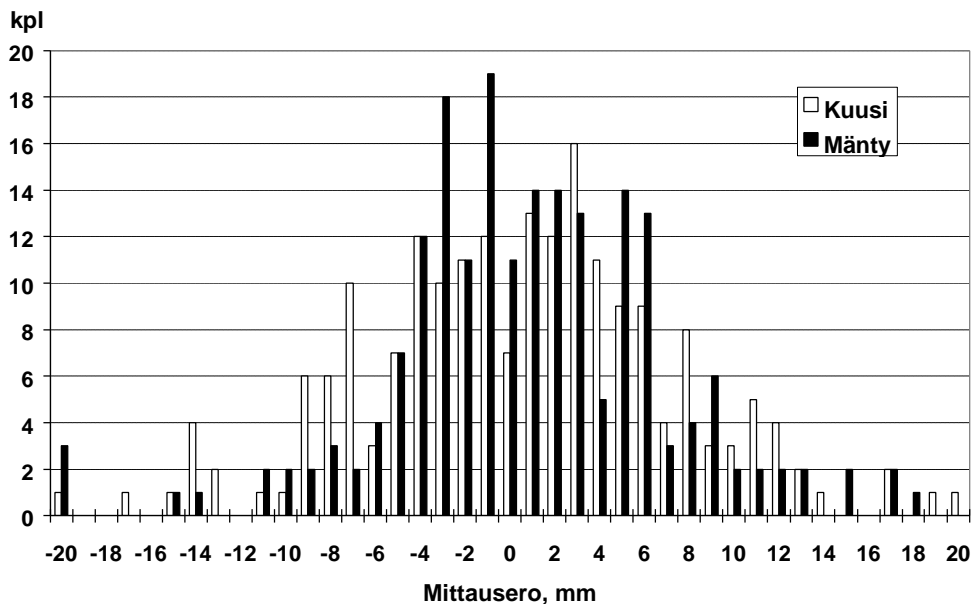
AVM 10 -tukkimittarilla 3 m:n jänteeltä mitatussa lenkoudessa tukkimittarin mittauksen ja tarkastusmittauksen riippuvuus oli suurempi kuin koko tukin lenkoudessa. Korrelaatiokertoimet olivat mittauseroittain kuusitukilla 0,45 ja 0,57 ja mäntytukilla 0,50 ja 0,55. Tukkimittarin mittauskertojen välinen riippuvuus oli kuusitukilla suurempi kuin mäntytukilla (0,74 ja 0,59).

Opmes 202 -tukkimittarin koko tukin lenkouden mittauserojen jakauma oli suppeampi kuin AVM 10 -tukkimittarilla ja noudatti paremmin normaalijakaumaa molemmilla puulajeilla (kuva 4). Myös tukkimittarin mittauksen ja tarkastusmittauksen väliset koko tukin lenkouden riippuvuudet olivat melko hyvät ja suuremmat kuin AVM 10 -tukkimittarilla. Puulajeilla ei ollut eroa.

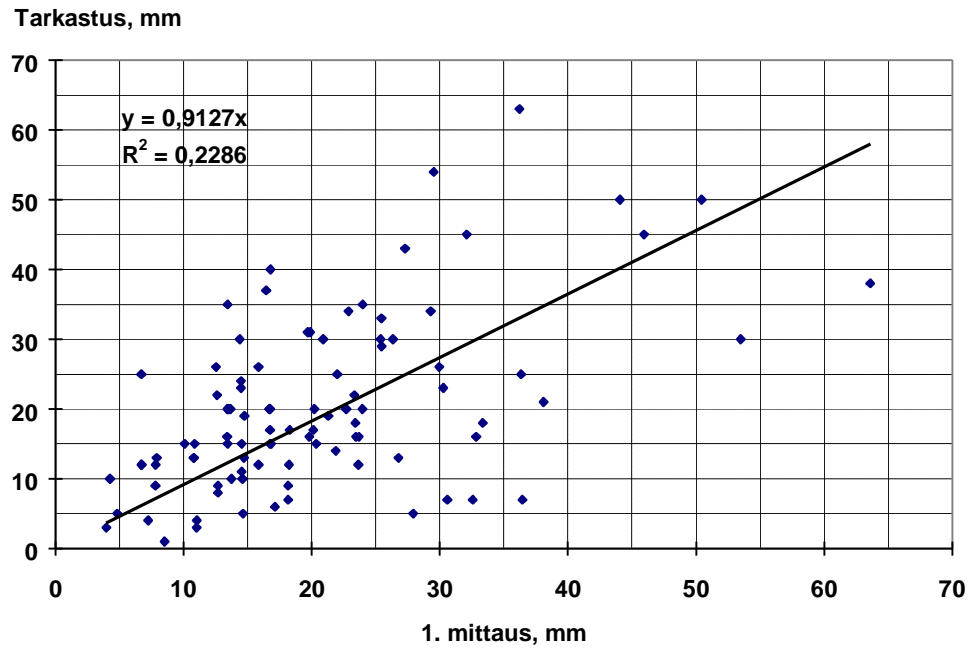
Korrelaatiokertoimet olivat mittauskerroittain kuusitukilla 0,81 ja 0,82 sekä mäntytukilla 0,83 ja 0,82 (kuvat 11 – 14, s. 21 - 22). Mittauskertojen tulosten välinen riippuvuus oli mäntytukilla suurempi kuin kuusitukilla (0,78 ja 0,67) (kuvat 15 ja 16, s. 23).



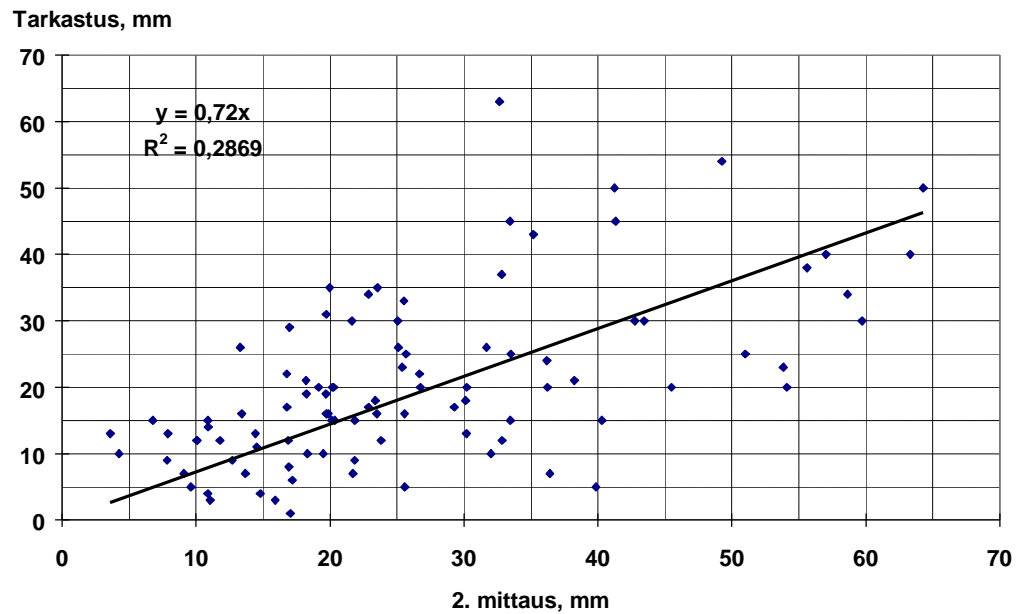
Kuva 3. Lenkouden mittauserojen jakauma, koko tukin lenkous, AVM 10 -tukkimittari, molemmat mittauskerrat.



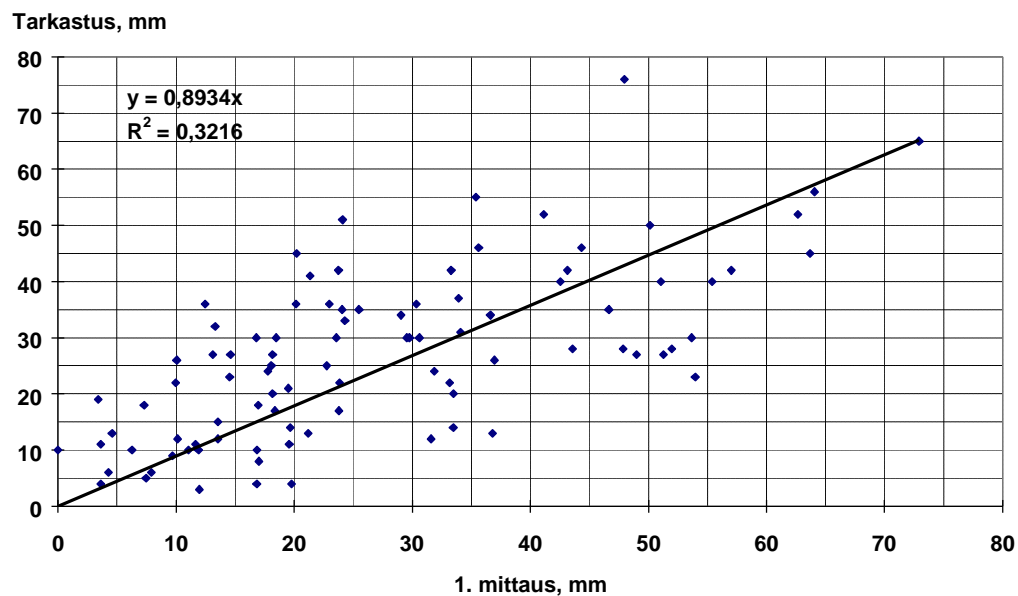
Kuva 4. Lenkouden mittauserojen jakauma, koko tukin lenkous, Opmes 202 -tukkimittari, molemmat mittauskerrat.



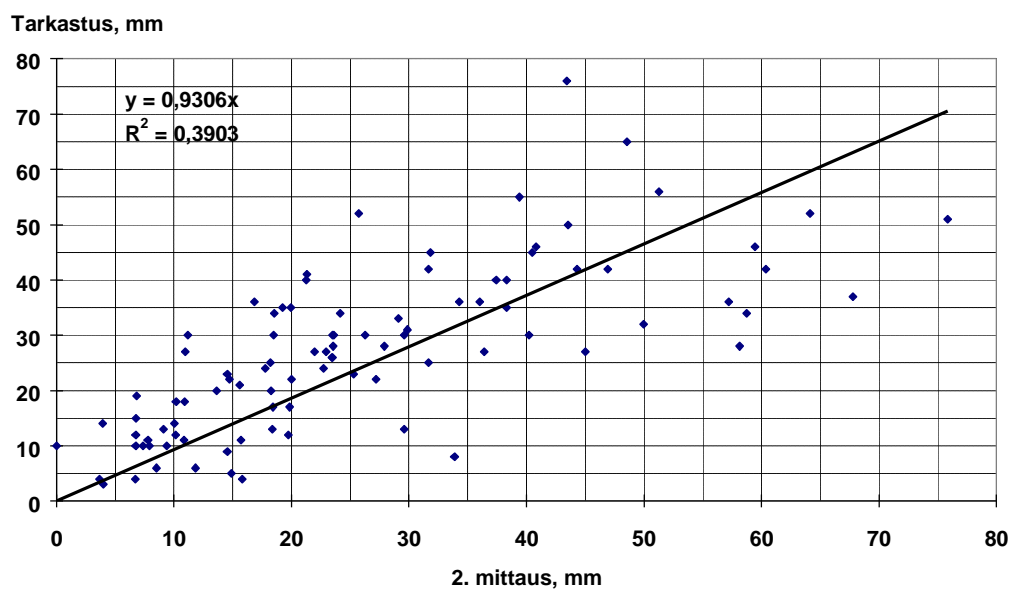
Kuva 5. Koko tukin lenkous AVM 10 -tukkimittarilla ja tarkastusmittauksessa, kuusitukki, 1. mittauskerta (tukki pyöritetty sopivaan asentoon).



Kuva 6. Koko tukin lenkous AVM 10 -tukkimittarilla ja tarkastusmittauksessa, kuusitukki, 2. mittauskerta (tukkia ei suunnattu).

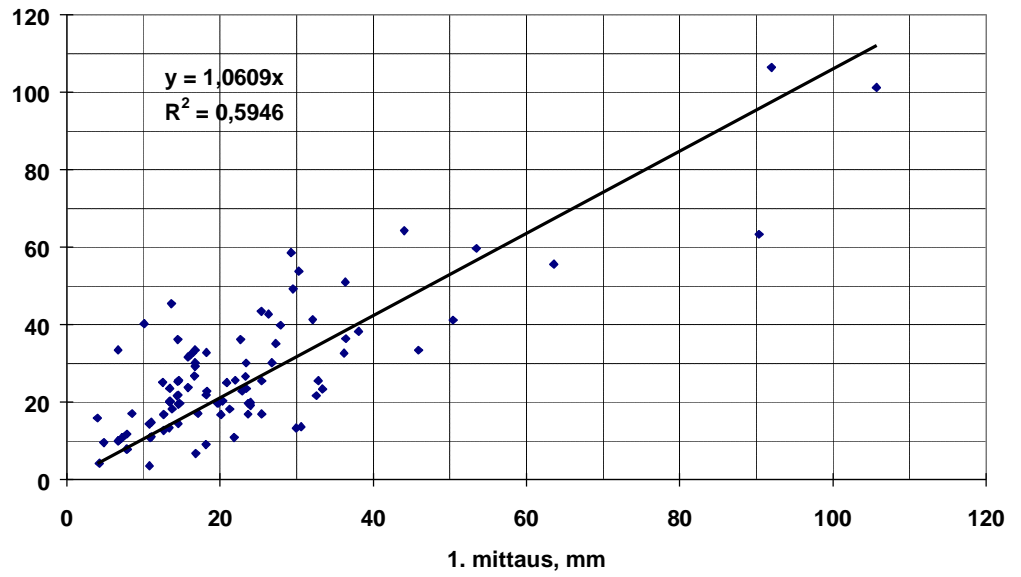


Kuva 7. Koko tukin lenkous AVM 10 -tukkimitarilla ja tarkastusmittauksessa, mäntytukki, 1. mittauskerta (tukki pyöritetty sopivaan asentoon).



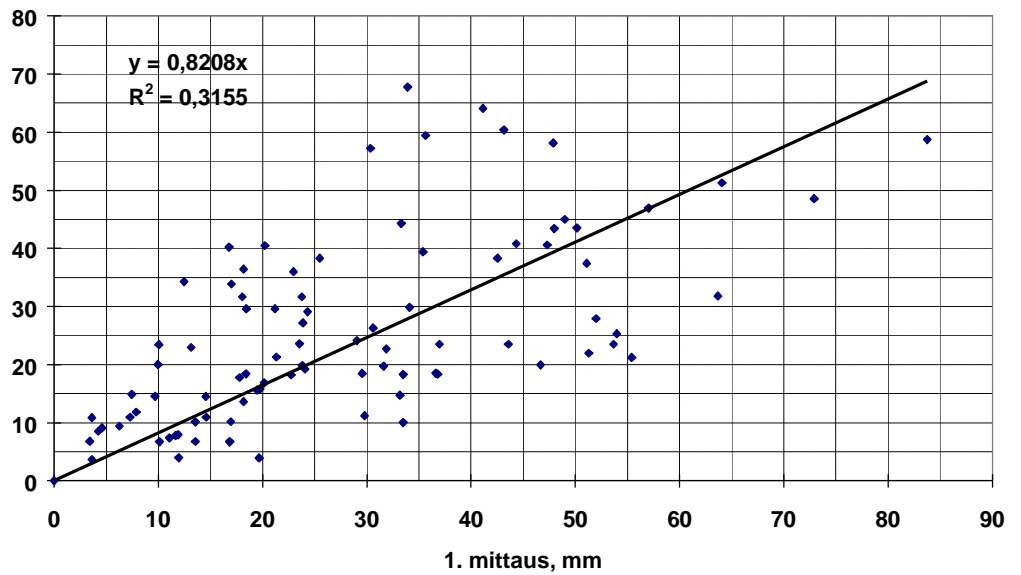
Kuva 8. Koko tukin lenkous AVM 10 -tukkimitarilla ja tarkastusmittauksessa, mäntytukki, 2. mittauskerta (tukkia ei suunnattu).

2. mittaus, mm

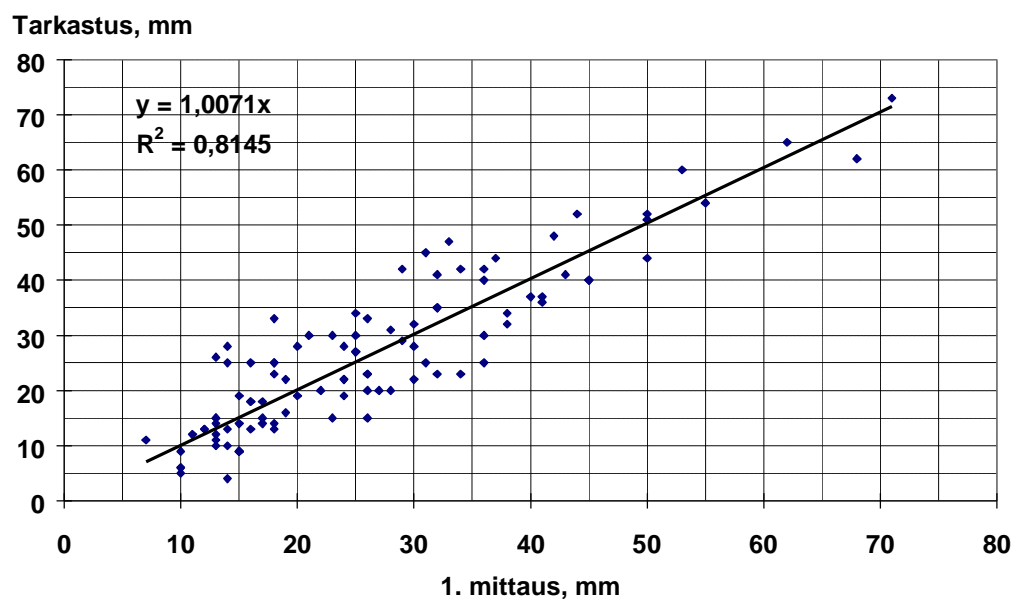


Kuva 9. Koko tukin lenkous AVM 10 -tukkimitarilla, 1. ja 2. mittauskerta, kuusitukki.

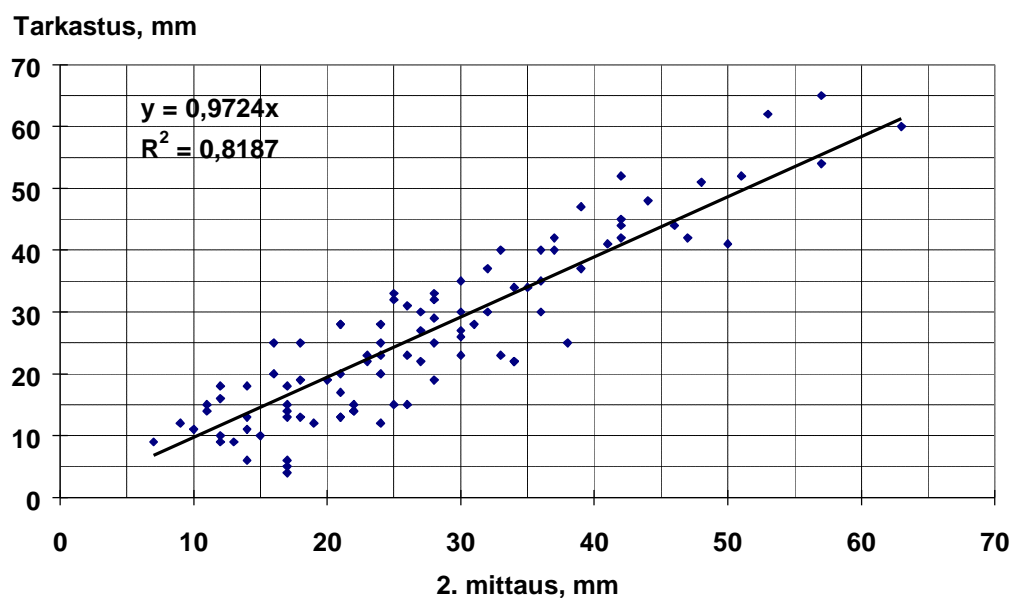
2. mittaus, mm



Kuva 10. Koko tukin lenkous AVM 10 -tukkimitarilla, 1. ja 2. mittauskerta, mäntytukki.

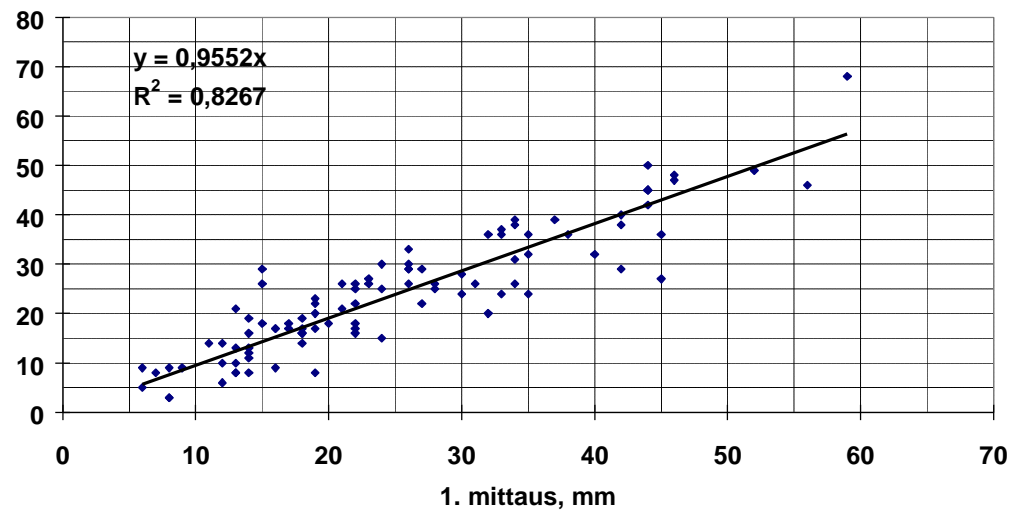


Kuva 11. Koko tukin lenkous Opmes 202 -tukkimittarilla ja tarkastusmittauksessa, kuusitukki, 1. mittauskerta (tukki pyöritetty sopivaan asentoon).



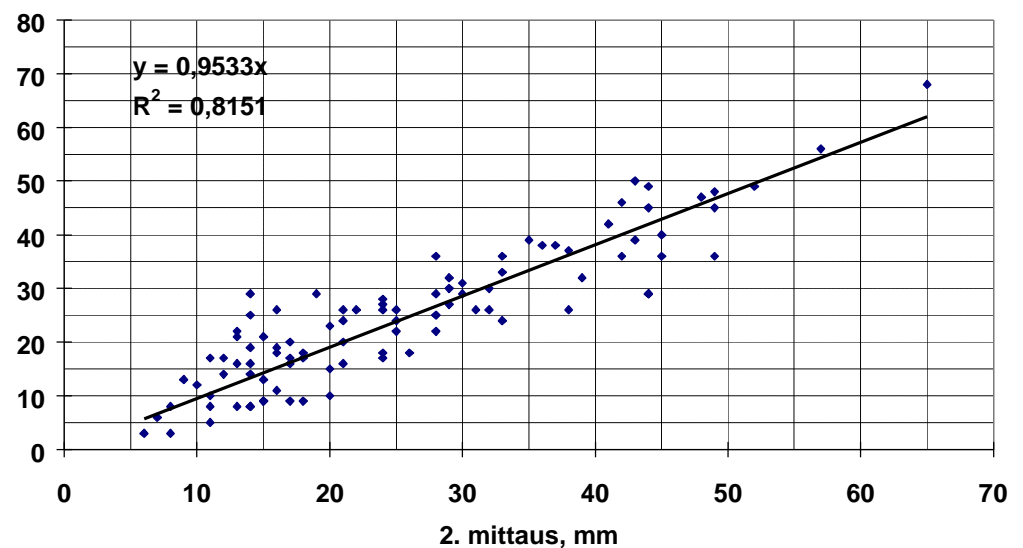
Kuva 12. Koko tukin lenkous Opmes 202 -tukkimittarilla ja tarkastusmittauksessa, kuusitukki, 2. mittauskerta (tukkia ei suunnattu).

Tarkastus, mm



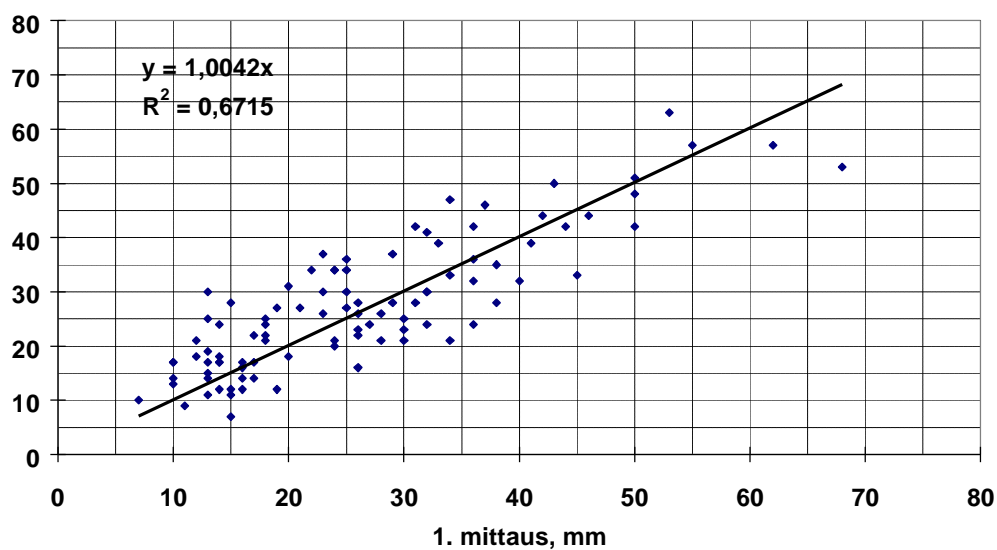
Kuva 13. Koko tukin lenkous Opmes 202 -tukkimittarilla ja tarkastusmittauksessa, mäntytukki, 1. mittauskerta (tukki pyöritetty sopivaan asentoon).

Tarkastus, mm



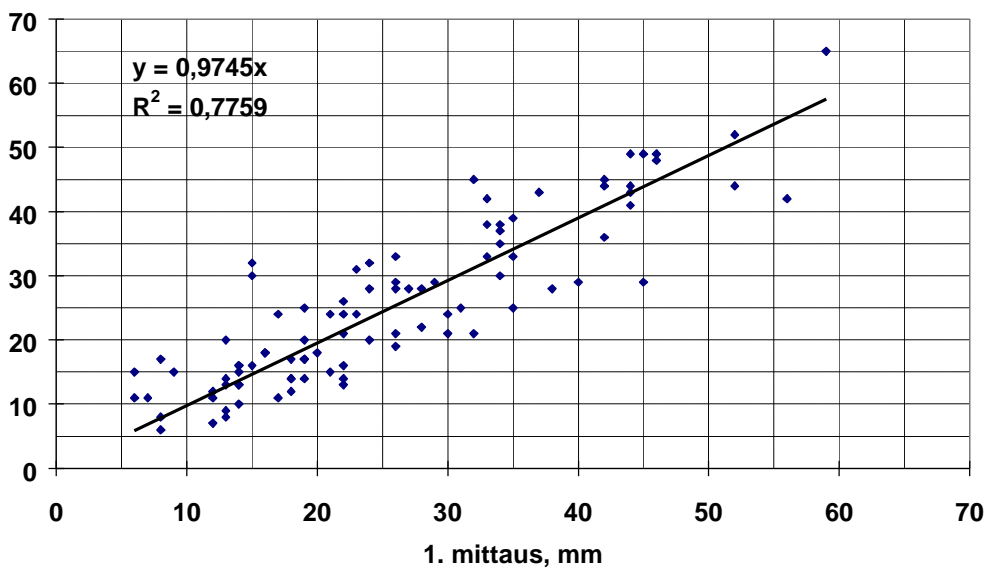
Kuva 14. Koko tukin lenkous Opmes 202 -tukkimittarilla ja tarkastusmittauksessa, mäntytukki, 2. mittauskerta (tukkia ei suunnattu).

2. mittaus, mm



Kuva 15. Koko tukin lenkous Opmes 202 -tukkimittarilla, 1. ja 2. mittauskerta, kuusitukki.

2. mittaus, mm



Kuva 16. Koko tukin lenkous Opmes 202 -tukkimittarilla, 1. ja 2. mittauskerta, mäntytukki.

4.5.1 Tyven vaikutus lenkouden mittaukseen

Kun tarkasteltiin koko tukin lenkouden mittaustarkkuutta tukkilajeittain, todettiin AVM 10 -tukkimittarin mittaavan tyvitukeilla lenkouden huonommin kuin muilla tukeilla (taulukko 11). Keskimääräiset mittauserot olivat suuria, ja mittauserojen keskihajonta oli tyvitukeilla yli kaksinkertainen muihin tukkeihin verrattuina. Tyvitukkien lenkouden mittauksessa oli yliarvio ja muiden tukkien lenkoudessa pääosin aliarvio.

Molemmat Opmes 202 -tukkimittarit mittasivat koko tukin lenkouden melko hyvin myös tukkilajeittain (taulukko 11). Keskimääräiset mittauserot ja mittauserojen keskihajonnat olivat pieniä. Tyvitukeilla oli keskimääräinen mittausero pienempi kuin muilla tukeilla, mutta mittauserojen keskihajonnoissa ei ollut merkittävää eroa.

TAULUKKO 11 Koko tukin lenkous tukkilajeittain

Tukki- mittari	Puutavara- laji	Mittaus	Lenkous, koko tukki				Otoksen koko
			Keski- arvo	Keski- hajonta	Pienin ero	Suurin ero	
			mm				
AVM	Kuusi, tyvi	1	4,71	17,25	-27	52	49
		2	8,31	16,08	-30	42	49
	Kuusi, muu	1	-1,34	7,94	-21	17	47
		2	4,30	7,99	-12	21	48
	Mänty, tyvi	1	3,18	16,44	-40	36	48
		2	0,82	14,37	-32	31	48
	Mänty, muu	1	-3,85	10,35	-24	19	48
		2	-3,10	9,73	-20	25	48
OPMES	Kuusi, tyvi	1	-0,95	7,42	-17	17	56
		2	-0,32	5,19	-10	12	56
	Kuusi, muu	1	0,36	4,77	-9	10	39
		2	2,61	5,88	-7	12	38
	Mänty, tyvi	1	-0,20	4,63	-14	11	49
		2	0,33	4,95	-10	10	49
	Mänty, muu	1	1,76	5,30	-11	13	46
		2	1,33	5,95	-15	15	45

4.5.2 Monivääryyden vaikutus lenkouden mittaukseen

AVM 10 -tukkimittarin aineistossa kuusitukeista 26 % ja mäntyukeista 10 % luokiteltiin monivääriseksi raakkitukeiksi ja Opmes 202 -tukkimittarin aineistossa vastaavasti kuusitukeista 22 % ja mäntyukeista 14 %.

AVM 10 -tukkimittarilla monivääryys ei selitä lenkouden mittauksen epätarkkuutta, sillä moniväärät kuusitukit mitattiin jopa tarkemmin kuin muut tukit. Mäntyukeilla tilanne oli päinvastainen: tukkimittari mittasi moniväärillä mäntyukeilla lenkouden huonommin kuin muilla tukeilla.

Opmes 202 -tukkimittarilla monivääryys vaikutti enemmän lenkouden mittauksen epätarkkuuteen kuin AVM 10 -tukkimittarilla. Moniväärien tukkien lenkous yliarvioitiin mäntyukeilla, mutta mittauserojen keskihajonnat olivat moniväärillä tukeilla kuitenkin pienemmät kuin muilla tukeilla. Kuusitukeilla moniväärien tukkien lenkous aliarvioitiin ensimmäisellä mittauskerralla ja yliarvioitiin toisella mittauskerralla. Muiden mänty- ja kuusitukkien lenkous mitattiin selvästi tarkemmin.

4.5.3 Lenkousluokituksen tarkkuus

Lenkouden hyväksyttävänä rajana käytettiin kaikilla tutkimuksessa mukana olleilla sahoilla 10 mm/m (esimerkiksi 40 dm pitkässä tukissa sallitaan lenkoutta 40 mm). Tukit luokitettiin hyväksytyihin ja raakkeihin tukkimittareiden lenkouden mittausten perusteella ja tulosta verrattiin tarkastusmittauksen perusteella tehtyyn luokitukseen. Jotta automaattista lenkousluokitusta voidaan pitää luotettavana, tulisi raakkien määrän olla suunnilleen sama kuin tarkastusmittauksessa, raakkitukkien osumatarkkuuden yli 80 % ja koko erän tukkien osumatarkkuuden vähintään 95 %.

Lenkousluokituksen osumatarkkuus oli AVM 10 -tukkimittarilla em. kriteereihin verrattuna riittämätön molemmilla puulajeilla (asetelma 2). Tukkimittari lajitteli raakkitukeiksi oikein 25 - 54 %:n tarkkuudella. 3 m:n jänteellä mitatun lenkouden perusteella raakkitukkien luokituksen tarkkuus oli 13 - 59 %. Tukkimittarin luokittamien raakkitukkien määrä toisessa kuusitukkierässä oli kaksinkertainen tarkastusmittaukseen verrattuna. Eräkohtaisesti AVM 10 -tukkimittarilla tukkien lenkousluokituksesta oli oikein 73 - 88 %.

Opmes 202 -tukkimittarilla raakkitukkien lenkousluokituksen tarkkuus oli lähellä asetettuja luotettavuuskriteerejä (asetelma 2). Tukkimittarin luokittamat raakkitukkien määrät olivat melko lähellä tarkastusmittauksen määriä ja raakkitukkien osumatarkkuus oli 63 - 79 %. Eräkohtaisesti Opmes 202 -tukkimittarilla tukkien lenkousluokituksesta oli oikein 86 - 94 %, mitä voidaan pitää tyydyttävänä tuloksena.

Asetelma 2 Laatuoluokituksen osuvuus lenkouden perusteella,
hyväksytyt lenkous 10 mm/m

Tehdas	Mittaus-erät	Raakit erässä, tarkastus, %	Raakit erässä, mittari, %	Raakit oikein, %	Laatu oikein, %
Koko tukin lenkous					
AVM	Kuusi 1	8	10	38	88
	Kuusi 2	8	16	25	80
	Mänty 1	24	22	38	73
	Mänty 2	24	21	54	81
Opmes	Kuusi 1	16	18	63	86
	Kuusi 2	16	12	69	94
	Mänty 1	14	18	71	88
	Mänty 2	14	17	79	91
Lenkous, 3 m					
AVM	Kuusi 1	8	2	13	91
	Kuusi 2	8	9	25	87
	Mänty 1	21	17	59	82
	Mänty 2	21	21	52	81

5 PÄÄTELMÄT

Tutkimuksessa olleet tukkimittarit edustivat kahta erilaista mittausperiaatetta. Opmes 202 -tukkimittarin kaksisuuntainen, vastavalotekniikkaan perustuva mittari määrittää kussakin mittauskohdassa tukista vain neljä mittauspistettä, joiden perusteella tukin läpimitat ja muut tunnuksat lasketaan. AVM 10 -tukkimittarin laseriin ja viivakameraan perustuvalla mittaustekniikalla kerätään mittauspisteitä lähes koko tukin kehältä. Jälkimmäinen mittausperiaate mahdollistaa teoreettisesti tarkasteltuna tarkemman mittauksen. Opmes 202 -tukkimittarin mittaustiheys on kuitenkin kaksinkertainen AVM 10 -tukkimittariin verrattuna, millä on merkitystä erityisesti latvaläpimitan määrittämisessä.

Tutkimuksen päätavoitteena oli lenkouden mittaustarkkuuden selvittäminen ja kehittäminen. Tukkimittareiden tarkkuustason selvittämiseksi tarkasteltiin kuitenkin ensin latvaläpimitan, pituuden ja tilavuuden mittaustarkkuutta.

Latvaläpimitan mittaus oli molemmilla tukkimittareilla melko tarkkaa. Merkittäviä systemaattisia virheitä ei ollut kummallakaan tukkimittarilla, joten kalibrointitarvetta ei ilmennyt. Tarkastusmittaus tehtiin ristiin mitaten, mikä vastasi lähinnä Opmes 202 -tukkimittarin mittaustapaa. AVM 10 -tukkimittarin mittauserot olivat paremmuutta ei siksi tällä tarkastusmittauksella voitu todeta. AVM 10 -tukkimittarilla eri mittauskertojen väliset noin 1 mm:n mittauserot johtuivat ilmeisesti kuoren kulumisesta tukkeja käsiteltäessä.

Pituuden mittauksessa AVM 10 -tukkimittarilla havaittu noin 2 cm:n systemaattinen ero on syytä korjata kalibroimalla. Molemmilla tukkimittareilla pituuden mittaus oli luotettavaa, sillä mittauserojen keskihajonta oli hyvin pieni.

Tilavuuden mittauserot olivat molempien tukkimittareiden tukkierillä pääsääntöisesti hieman negatiiviset. Erojen syyt johtuvat tarkastusmittaustavasta, tyvitukkien sievistyksestä tilavuuden laskennassa ja kuoren kulumisesta tukkien käsittelyssä. Tukkimittareiden tarkastusmittaus tehdään yleisesti 1 m:n lieriöinä yhdestä suunnasta mitaten ja tukin tyvestä aloittaen. Tämä johtaa erityisesti tyvitukeilla noin 1 %:n aliarvioon. Sen välttämiseksi tukit tulisi mitata satunnaisesti tyvestä ja latvasta aloittaen ja ristiin mitaten. Tyvitukkien ja muiden tukkien väliset mittauserot viittaavat siihen, että tukkimittareiden laskentaohjelmat leikkaavat tyvilaajentuman. Laskentaa ohjaavia parametreja on tulosten perusteella syytä tarkistaa. Mittauskertojen väliset erot taas viittaavat kuoren kulumiseen tukkien käsittelyssä, kuten latvaläpimitan mittauseroistakin havaittiin.

Tukkimittareiden lenkouden mittaustarkkuus ei täyttänyt asetettuja kriteereitä tukkien raakkaukseen luovutusmittauksessa. Lenkouden mittaustarkkuus oli AVM 10 -tukkimittarilla riittämätön, mutta molemmilla Opmes 202 -tukkimittareilla jo lupaava. Tämä osoittaa sen, että teoreettisesti paremmin tukin muodon mittaavaa tekniikkaa ei tässä tapauksessa pystytty vielä hyödyntämään lenkouden mittauksessa. Toisaalta perinteisellä vastavalotekniikalla on mahdollisuudet päästä hyvään tulokseen.

Tukin suurimman lenkouden mittaaminen tarkasti edellä kuvatuilla mittausperiaatteilla edellyttää tukin optimaalista suuntaamista tukkimittareiden mitaussuuntaan nähden. Mittaustesteissä ei tukin suuntauksesta havaittu olevan hyötyä, mikä johtui todennäköisesti kokeen suoritustavasta. Parhaaseen mitausasentoon asetellut tukit, varsinkin tyvitukit, liikkuvat tukkikuljettimella mittauksen aikana, koska niitä ei voitu tukea samaan asentoon mittauksen ajaksi. Tyvitukkien epäsymmetriset tyvilaajentumat pakottivat tukin kuljettimelle asentoon, joka poikkesi usein parhaasta mitausasennosta. Merkittävin lenkouden mittausvirheiden syy olikin todennäköisesti tukin liikkuminen ja kuljettimen heilahtelu mittauksen aikana.

AVM 10 -tukkimittarilla lenkouden mittaus epäonnistui erityisesti tyvitukeilla. Tyvilaajentumasta on vaikea määrittää lenkouden mittauksen alkukohta, mikä aiheuttaa helposti suuren virheen. Opmes 202 -tukkimittarilla tyvitukki- en mittauksen tarkkuus ei kuitenkaan poikennut muista tukeista. Tästä voidaan päätellä, että AVM 10 -tukkimittarin lenkouden mittaushjelmaa kehittämällä tyvitukkien lenkouden mittaustarkkuutta voidaan vielä olennaisesti parantaa. AVM 10 -tukkimittarin mäntytukkierässä kuuden tukin jääminen ilman lenkousarvoja johtuu ilmeisesti siitä, että tukkimittari ei tukin tyvessä määrittänyt tukin keskilinjaa oikein.

5.1 Tulokset verrattuna aiempaan Metsätehon tutkimukseen

Läpimitan mittaustarkkuus tämän tutkimuksen tukkimittareilla oli parempi verrattuna edelliseen Metsätehon tutkimukseen, jossa olivat mukana Elmes-, Rema- ja Scanlog-tukkimittarit. Sekä läpimitan keskimääräiset mittauserot että mittauserojen keskihajonnat olivat pääsääntöisesti pienemmät. Myös tukkimittareiden pituuden ja tilavuuden mittaustarkkuus oli tässä tutkimuksessa parempi. Tosin aiemmassa tutkimuksessa tukkimittarit mittasivat kaikki tukkierät hyväksytysti (ero alle ± 4 %), kun tässä tutkimuksessa Honkalahden tukkimittari mittasi yhdellä mäntyerällä vähän yli ± 4 %:n tilavuuseron. Tilavuuserojen keskihajonnat olivat aiemmassa tutkimuksessa suurempia.

Lenkouden mittaustarkkuus oli aiemman tutkimuksen mukaan tukkimittareilla huono. Silloin tukkimittarit yliarvioivat selvästi tukkien lenkouden. Tämän tutkimuksen tukkimittarit mittasivat lenkoutta kuitenkin keskimäärin tarkemmin kuin edellisen tutkimuksen tukkimittarit. Mittauserojen keskihajonnat olivat Opmes 202 -tukkimittarilla selvästi aiempia pienemmät, mutta AVM 10 -tukkimittarilla paljon suuremmat. Edellisessä tutkimuksessa olivat lenkouden mittauserojen keskiarvot -3,4 - 5,8 mm ja keskihajonnat 7,0 - 9,6 mm.

5.2 Mittauksen kehittäminen

Latvaläpimitan mittauksen aloituskohtaa ohjaavat parametrit tulisi asettaa siten, että mittausta ei aloiteta aivan tukin latvasta. Kuoren irtoaminen ja tukkien käsittelystä johtuva tukin latvan vahingoittuminen aiheuttavat ongelmia oikean lajitteluläpimitan mittaukseen. Opmes 202 -tukkimittarissa käytetty 10 cm:n etäisyys latvasta lienee riittävä. Tämä koskee vain lajittelussa käytettävää latvaläpimittaa.

Lenkouden mittauksen tarkkuuteen liittyvät läpimitan ja pituuden mittaustarkkuudet olivat tukkimittareilla hyviä. Tämän perusteella lenkouden mittauksen tarkkuuden parantaminen on mahdollista. Kehitystyötä vaativat lajittelukuljettimet, sillä tukkien liikkumista mittauksen aikana on pyrittävä vähentämään.

Lenkouden mittauksen tarkkuuden parantaminen edellyttää, että tukkimittari mittaa tukkia mahdollisimman monesta suunnasta. AVM 10 -tukkimittarilla laserin piirtämä viiva tukin pinnalla ei ole yhtä voimakas joka puolella tukkia. Tällöin viivakameroiden kuvaama havainto viivasta tukin yläreunalla ei ole tarpeeksi tarkka. Yhden laservalonlähteen ja viivakameran lisääminen kuljettimen yläpuolelle todennäköisesti parantaa lenkouden ja läpimitan mittausta. Kameroiden kuvausnopeutta tulisi myös lisätä merkittävästi lajitteluläpimitan määrittämisen kannalta. Kuvaus 2 cm:n välein lienee riittävä.

Tukin lenkouden laskentaa tulisi myös kehittää. Tukkilajittelun automaattinen laatuluokitus edellyttää, että tukkimittarin pitäisi pystyä erottamaan toisistaan lenkous, monivääryys ja mutka, koska kaksi viimeistä ovat aina tukissa esiintyessään raakkisyyttä, kun taas lenkoutta sallitaan.

Lenkouden mittauksen parametrit eri tukkimittareilla kaipaavat yhtenäistämistä. Parametrien erilaisuudesta johtuen lenkousraja (10 mm/m) ei ole käytännössä sama eri tukkimittareilla ja sahoilla.

AVM 10 -tukkimittari tulostaa kaksi lenkoustunnusta (koko tukin lenkous ja 3 m:n lenkous, mm/m) ainoastaan mm:n tarkkuudella, mikä ei ole enää riittävä tulostustarkkuus pyrittäessä parantamaan lenkouden mittauksen tarkkuutta.