

Metsätehon raportti 159
10.11.2003

Pinomittaus ajoneuvossa

Ositettu kehysotantamittaus

Samuli Hujo
Heikki Alanne
Timo Hokka
Sirkka Keskinen

Pinomittaus ajoneuvossa

Ositettu kehysotantamittaus

**Samuli Hujo
Heikki Alanne
Timo Hokka
Sirkka Keskinen**

Metsätehon raportti 159
10.11.2003

Ryhmähanke: Metsähallitus, Metsäliitto Osuuskunta, Metsäteollisuus ry, Stora Enso Oyj, UPM-Kymmene Oyj ja Vapo Timber Oy

Asiasanat: puutavaran mittaus, pinomittaus, ositettu kehysotanta

© Metsäteho Oy

Helsinki 2003

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	4
1 TUTKIMUKSEN TAUSTA JA TAVOITE	5
2 NYKYMENETELMÄN ONGELMIEN KARTOITUS	6
3 ESITUTKIMUS	6
3.1 Aineisto	6
3.2 Tulokset.....	7
3.3 Eräkoon vaikutus pinomittauksen tarkkuuteen.....	8
3.4 Päätelmät.....	8
4 OSITETTU KEHYSOTANTAMITTAUS	9
4.1 Mittausmenetelmä.....	9
4.2 Tutkimusaineisto.....	10
4.3 Nippujen mittauksen tarkkuus	12
4.4 Laskenta-aineisto ositetussa kehysotannassa.....	14
4.5 Tulokset.....	15
5 PÄÄTELMÄT	19
KIRJALLISUUS	21
LIITTEET	

TIIVISTELMÄ

Pinomittaus ajoneuvossa on nykyisin yleisesti käytetty menetelmä erityisesti pienten hankinta- ja käteiskauppapuerien tehdasmittauksessa. Mitattavien tehdasmittauserien lukumäärän perusteella se lienee valtamenetelmä. Ajoneuvokuormassa olevan kuitupuunipun tilavuuden toteamisessa pinomittauksen käyttö vähenee ajan myötä kehittyneempien menetelmien tieltä. Kuitenkin sitä tarvitaan vastaisuudessa erityisesti sellaisilla kuitupuuta käyttävillä tuotantolaitoksilla, joissa pienten tehdasmittauserien osuus on suuri. Lisäksi pinomittausta tullaan käyttämään tekniikaltaan kehittyneempien mittausmenetelmien varamenetelmänä ja osittain muuten hankalasti mitattavien puutavaraerien määrän toteamisessa.

Projektin tavoitteena oli kehittää pinomittausta ajoneuvossa. Aluksi kartoitettiin nykyongelmat, minkä pohjalta lähdettiin kokeilemaan ositettua kehysotantaa ajoneuvossa olevan kuitupuunipun mittauksessa. Ositettu kehysotantamittausmenetelmä eri otantavaihtoehdoilla osoittautui tutkimuksessa tarkkuudeltaan heikommaksi kuin nykyisin käytettävä pinomittaus ajoneuvossa. Ositetun kehysotantamittauksen etuna voidaan pitää sen kykyä mukautua muuttuviin olosuhteisiin. Jos tehtaalle saapuvan kuitupuusuman ominaisuudet jostakin syystä poikkeaisivat huomattavasti aikaisemmin toimitetusta puutavarasta, pystyisi tällöin ositettu kehysotantamittaus reagoimaan muutoksiin otantamittausten perusteella päivittyvien ositeluokittaisten kiintotilavuusprosenttien kautta. Tämän tutkimuksen mukaan tehdasmittajat osaavat käyttää nykyistä pinomittausmenetelmää ja he pääsevät verraten hyvin oikeaan mittaustulokseen kokemuksensa avulla.

Ositetun kehysotantamittauksen käyttö pienten puuerien kaupallisessa tilavuuden määrittämisessä edellyttäisi maa- ja metsätalousministeriön vahvistaman Otantaan perustuvat mittausmenetelmät -ohjeen muuttamista. Pinomittaus ajoneuvossa säilyy yhtenä mittausmenetelmävaihtoehtona tulevaisuudessa ja sen käyttö edellyttää mahdollisimman tarkkaa mittaustyötä erityisesti nipun pituuden ja poikkeavien erien pinotiivistekijöiden määrityksessä. Tehtaalla suoritettava pinomittaus ajoneuvossa on toteutettava maa- ja metsätalousministeriön vahvistaman tehdasmittauksen yleisohjeen mukaisesti, jolloin pystytään mittaajakohtaisesti seuraamaan perusmittauksen tarkkuustasoa.

Projektin esitutkimuksessa laskettiin, kuinka monta kuitupuunippua on mitattava, jotta nykyisin vaadittavaan ± 4 %:n eräkohtaiseen tarkkuuteen päästään. Asetettuun mittaustarkkuuteen (± 4 %) päästään 97 %:n varmuudella mittauserän sisältäessä vähintään 12 - 13 keskikokoista nippua koivukuitupuuta, noin 9 nippua mäntykuitupuuta tai noin 8 nippua kuusikuitupuuta. Tämä tarkastelu eräkoon vaikutuksesta mittaustarkkuuteen vahvasti vallitsevaa käsitystä, että käytännössä pienten puutavaraerien mittaamisessa ei päästä aina vaadittuun mittaustarkkuuteen.

1 TUTKIMUKSEN TAUSTA JA TAVOITE

Pinomittausmenetelmän osuus mitatusta kokonaispuumäärästä on pienentynyt voimakkaasti 1990-luvulta alkaen korvautuen lähinnä tehdasmittausmenetelmien kasvaneilla osuuksilla. Erityisesti tienvarressa tapahtuvaa pinomittausta on kustannus- ja mittaustarkkuussyistä pyritty siirtämään tehtaalla tehtäväksi. Pinomittausta ajoneuvossa käytetään perusmittausmenetelmänä useimmiten tehtailla, joiden vuotuiset puunvastaanottomäärät ovat pienet. Lisäksi ajoneuvossa olevien pienten tai muuten vaikeasti mitattavien erien sekä erityisesti luovutusmittauserien mittauksessa käytetään pinomittausta useilla tehtailla, joilla päämenetelmänä on esimerkiksi paino-otantaan tai kehyskuvaukseen perustuva mittaus. Myös rautateitse kuljetettava puutavara mitataan monesti pinomittausmenetelmällä.

Pinomittaus ajoneuvossa tehdään maa- ja metsätalousministeriön vahvistaman pinomittausohjeen mukaisesti pitkälti samalla tavalla kuin tienvarsivarastolla suoritettava pinomittaus. Ajoneuvossa tehtävä pinomittaus on kuitenkin parempien työskentelyolosuhteiden ansiosta vaivattomampaa ja tarkempaa kuin pinomittaus tienvarressa. Lisäksi tehtaalla tehtävää pinomittausta pystytään valvomaan mittaajakohtaisesti satunnaisesti arvottujen kontrollinippujen avulla. Ajoneuvokuormassa tehtävän pinomittauksen etuna on myös se, että sillä voidaan mitata sellaisia pieniä puueriä, joiden eräkohtainen mittaus ei ole tarkoituksenmukaista esimerkiksi paino-otantamittauksella vallitsevan ohjeistuksen takia.

Pinomittauksen käyttämiseen liittyy joitakin ongelmia, ja menetelmän rakenteelliset heikkoudet ovat olleet jo pitkään tiedossa. Menetelmässä arvioidaan subjektiivisesti pinotiiviyyttä kuvaavia tekijöitä, ja lisäksi vapaapituista kuitupuurankaa sisältävän nipun pituuden määrittäminen on aikaa vievää työvaihe. Pinomittaus ihmistyötä vaativana menetelmänä on suhteellisen työläs ja siten se ei ole kustannustehokkuudeltaan kilpailukykyinen muihin käytettävissä oleviin menetelmiin verrattuna.

Projektin alkuperäisenä tavoitteena oli kehittää ajoneuvokuormassa tapahtuvaa pinomittausta siten, että pinomittaus ajoneuvossa olisi mahdollisesti eriytetty omaksi menetelmäkseen tai ainakin sitä varten olisi laadittu omat keskimääräiset kiintotilavuusprosentit, jotka olisivat poikenneet nykyisen ohjeen kertoimista. Aluksi tutkimuksessa selvitettiin haastatteluilla nykyiseen pinomittausmenetelmään liittyvät ongelmat ja samalla kartoitettiin kehittämismahdollisuuksia. Esitutkimuksen avulla haettiin pohjaa nykyisen menetelmän mittaustarkkuuden parantamiseen ja selvitettiin mahdollisuudet laatia uudet kiintotilavuusprosentit ajoneuvokuormissa oleville kuitupuunipuille. Mittaustarkkuutta selvitettiin tehtaiden puuvastaanotoissa otantaan valittujen kuitupuunippujen tarkastusmittausaineistojen avulla. Myöhemmin tutkimusta suunnattiin uudelleen siten, että siinä kokeiltiin kahdella eri tehtaalla ositetun kehysotantamittauksen toimivuutta kuitupuun mittauksessa.

2 NYKYMENETELMÄN ONGELMIEN KARTOITUS

Tehtaiden puunvastaanotoissa tehtyjen haastattelujen perusteella voitiin todeta, että ajoneuvokuormassa olevan nipun pituuden määrittäminen riittävän tarkasti on ongelmallista pitkällä kuitupuurangalla ja nk. sekakuormilla. Nykyisissä pinotiheyskertoimissa on joillakin tehtailla havaittu ongelmia erityisesti tiheillä, järeätä puutavaraa sisältävillä nipuilla ja toisaalta myös poikkeuksellisen harvoilla puutavaraniipuilla. Pinotiheyskertoimien ”puutuminen” järeimmillä läpimittaluokilla on koettu ongelmaksi, ja ylipäättään järeätä lahokuusta eli nk. lumpeja sisältävien nippujen mittauksen on todettu olevan hankalaa. Haastattelut tehtiin Mittaportti Oy:n ja Metsäliitto-Yhtymän Tehdasmittaus Oy:n mitta-asemilla sekä Sunilan mittayhtiön toimipaikalla. Haastatteluissa esiin nousseet ongelmat ja puutteet vastasivat hyvin ennako-oletuksia.

3 ESITUTKIMUS

3.1 Aineisto

Vuoden 2000 loppupuolella tehtiin esitutkimus, jossa mahdollisuuksien mukaan samat puutavaraerät mitattiin pinomittauksella tienvarressa, ajoneuvokuormassa lähtöpään varastopaikalla ja ajoneuvokuormassa tehtaalla pinomittausohjeen mukaisesti. Tienvarressa mittaukset teki Metsätehon työntutkija (taulukossa 1-3 olevat lyhenteet: Pino ja KUP1) ja tehtaalla työntutkija (KUP2) ja perusmittaaja (Tehdas). Puutavaraniippujen tarkka kiintotilavuus saatiin kappaleittaisella mittauksella. Tyvilahoista kuusilumppia sisältäviä nippuja mitattiin pääasiassa vain tehtaan puunvastaanotossa. Esitutkimuksessa mitattiin tehtaalla kaikkiaan 13 koivukuitupuunippua (KOK), 35 kuusikuitupuunippua (KUK) ja 18 mäntykuitupuunippua (MÄK) sekä 22 nippua, jotka sisälsivät lahoa kuusilumppia. Taulukossa 1 on esitetty esitutkimuksessa mitatut niput mittaajittain.

TAULUKKO 1 Esitutkimuksessa mitattujen nippujen lukumäärät mittaajittain ja puutavaralajeittain.

Mittaaja	Puutavaralaji				Yhteensä, kpl
	KUK	MÄK	KOK	Laho	
Pino	10	6	1	2	19
KUP1	37	23	13	4	77
KUP2	35	18	13	22	88
Tehdas	35	18	13	22	88
Otanta	9	16	11	20	56
Yhteensä	126	81	51	70	328

Lyhenteiden selitykset:

Pino = Pinomittaus tienvarressa

KUP1 = Pinomittaus ajoneuvossa tienvarsivarastolla

KUP2 = Pinomittaus ajoneuvossa tehtaalla

Tehdas = Pinomittaus ajoneuvossa tehdasmittaajan suorittamana

Otanta = Otantanipun mittaus yksinkappaleittain

3.2 Tulokset

Kehystilavuuden määrittämisessä erot eri mittaajien ja eri mittauskertojen välillä olivat määrällisesti 3-metrisellä kuitupuulla pieniä nipun korkeuden, leveyden ja pituuden mittauksissa. Vapaapituisten (n. 5 m) rankanipun leveyden mittauksessa ei ollut suuria eroja. Nippujen korkeuden ja pituuden mittauksissa oli eroja, kuusikuitupuulla erityisesti pituuden ja mäntykuitupuulla korkeuden mittauksessa. Pinotiiviyyttä kuvaavien tekijöiden määrittämisessä suurimmat erot tulivat esiin mäntykuitupuulla. Yleisesti ottaen nykyisessä pinomittauksessa suurimmiksi ongelmiksi koettiin nipun pituuden määrittäminen ja joissakin tapauksissa pinotiheyskertoimien ”riittämättömyys”. Ajoneuvossa olleiden nippujen keskimääräiset tilavuuserot ja kokonaistilavuuserot mittaajittain ja mittaustaikoittain on esitetty taulukossa 2. Esitutkimusaineistosta laskettuja suhteellisia eroja on verrattu tehtaan perusmittaukseen, jota kuvaa 0-rivi taulukossa 2.

TAULUKKO 2 Nippujen keskimääräiset tilavuuserot ja kokonaistilavuuserot puutavaralajeittain ja mittaajittain esitutkimusaineistossa.

Mittaaja	Keskimäär. tilavuusero, %				Kokonaistilavuusero, %			
	KUK	MÄK	KOK	Laho	KUK	MÄK	KOK	Laho
KUP1	0,3	1,3	-2,7		0,8	1,9	-2,7	-
KUP2	2,8	3,2	-0,4	6,6	2,8	3,5	-0,3	6,7
Tehdas	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Otanta	2,8	4,7	-1,1	-0,5	-	-	-	-0,7

Lyhenteiden selitykset ovat samat kuin taulukossa 1.

Lähtöpään tienvarsivarastolla ja tehtaalla tehtävää pinomittausta ajoneuvossa verrattiin esitutkimuksessa keskenään ja näin seurattiin kuorman mahdollista tiivistymistä kaukokuljetuksessa. Seuraavassa taulukossa on keskimääräiset kiintotilavuusprosentit sekä tienvarressa (KUP1) että tehtaalla perustuen ajoneuvokuormissa mitattuihin puutavarannippuihin. Tehtaalla pinomittauksen suoritti sekä Metsätehon työntekijä (KUP2) että perusmittaaja (Tehdas). Eri mittauskerroilla määritettyjen kiintotilavuusprosenttien väliset erot olivat varsin pieniä taulukon 3 mukaisesti. Esitutkimusaineiston mukaan ajoneuvokuormassa olevat puutavaranniput eivät tiivisty eivätkä ”painu kasaan” kaukokuljetuksen aikana.

TAULUKKO 3 Ajoneuvokuormassa olleiden nippujen keskimääräiset kiintotilavuusprosentit puutavaralajeittain ja mittaajittain esitutkimusaineiston mukaan.

Mittaaja	Keskimääräinen kiintotilavuus-% ajoneuvossa			
	KUK	MÄK	KOK	Laho
KUP1	64,3	63,1	56,3	-
KUP2	64,1	62,9	56,5	69,6
Tehdas	64,5	64,3	55,7	68,2

Lyhenteiden selitykset ovat samat kuin taulukossa 1.

Kuusikuitupuunippujen keskimääräiset kiintotilavuusprosentit olivat lähes samat eri mittauskerroilla, kuten taulukosta 3 käy ilmi. Kuusikuitupuunippuja oli esitutkimusaineistossa selvästi eniten, joten tuloksia voidaan tältä osin pitää verraten luotettavina. Pinomittausmenetelmä sisältää tosin subjektiivisesti arvioitavia pinotiiviyyttä kuvaavia tekijöitä, joita eri mittajat soveltavat hieman eri tavalla.

3.3 Eräkoon vaikutus pinomittauksen tarkkuuteen

Esitutkimuksessa selvitettiin myös ajoneuvokuormassa tehtävän pinomittauksen tarkkuutta perustuen tehtaiden puuvastanoitoista saatuihin perustautustietoihin ja niitä vastaavien otantanippujen mittaustietoihin. Mäntykuitupuulla nippukohtainen tilavuuden mittausvirhe oli keskimäärin 1,1 % keskihajonnan ollessa 5,7 %. Vaadittuun ± 4 %:n tarkkuuteen pääsemiseksi 97 %:n varmuudella tulisi mittauserän sisältää vähintään 9 nippua (n. 130 m³) olettaen nipun keskikooksi 15 m³. Koivukuitupuulla mittaustarkkuus ei ollut aivan yhtä hyvä kuin mäntykuitupuulla keskimääräisen mittaeron ollessa 1,0 % ja nipun tilavuuden keskihajonnan 6,1 %. Koivukuitupuulla tarvittaisiin ± 4 %:n tarkkuuteen pääsemiseksi noin 12 - 13 ajoneuvonippua (n. 175 m³). Vastaavasti kuusikuitupuun osalta keskihajonta oli 5,3 %, jolloin ± 4 % vaatimuksen täyttämiseksi olisi mitattava noin 8 nippua kuusikuitupuuta (n. 120 m³). Näiden otantamittaustietojen perusteella eri puutaralajeille laaditut tasoitetut viivakaaviot mittauserän kokoon nähden on esitetty liitteessä 1. Ne havainnollistavat hyvin eräkoon vaikutuksen huomioon ottamisen tärkeyttä, kun vastaisuudessa asetetaan tarkkuusvaatimuksia eri mittausmenetelmille tai muutetaan niitä.

3.4 Päätelmät

Tehdyn esitutkimuksen perusteella ei katsottu olevan aiheellista lähteä kehittämään nykyisin käytettävää pinomittausmenetelmää. Uusien pinotiiviyyttä kuvaavien kertoimien määrittäminen erikseen ajoneuvossa tehtävällä pinomittaukselle olisi ollut erittäin työläs ja täten myös kustannuksiltaan kallis vaihtoehto. Lisäksi uusituilla pinotiiviyskertoimilla olisi päädytty varsin todennäköisesti samoihin ongelmiin kuin nykyisessä pinomittausmenetelmässä. Pinomittausmenetelmän rakenteellisia heikkouksia on lähes mahdoton korjata tekemällä siitä entistä hankalampi ja kalliimpi sovellettavaksi käytäntöön ilman kehittyneempää mittausteknologiaa.

4 OSITETTU KEHYSOTANTAMITTAUS

4.1 Mittausmenetelmä

Kehysotantamittausta käytetään nykyisin useilla vaneritehtailla ja rautateitse kuljetettavan puutavaran vastaanotossa, jossa mittaja arvioi kiintotilavuusprosentin silmävaraisesti. Kehysotantamittaus on vahvistettu menetelmä ja se voi olla joko ositettu tai osittamaton kuten muutkin otantaan perustuvat mittausmenetelmät. Ositusperusteena käytetään nipun kiintotilavuusprosenttia. Kehysotannassa mitataan mittausnäytteen kehystilavuus nipuittain ja se muunnetaan kiintotilavuudeksi otannalla valituista näyte-eristä mitatun keskimääräisen kiintotilavuusprosentin perusteella. Kunkin ositteen kiintotilavuusprosentti päivittyy otannan mukaan. Käyttökokemukset kehysotantamittauksesta ovat olleet pääosin myönteisiä.

Tässä tutkittu ajoneuvokuormissa tehtävä ositettu kehysotantamittaus perustui kehystilavuuden ja nippukohtaisten luokitustekijöiden määrittämiseen. Luokitustekijöiden perusteella määrätty, mihin ositteeseen kukin nippu kuului. Tutkimuksessa ositeluokka määrättiin puutavaralajin, sen pituuden, läpimittaluokan ja tiiviysluokan perusteella. Kehysotantamittauksessa käytetty luokitus on esitetty yksityiskohtaisemmin seuraavassa kappaleessa. Jokaisella ositteella oli käytössä keskimääräinen kiintotilavuusprosentti, jota päivitettiin kyseisen ositteen otantamittausten mukaan. Menetelmän etuna voidaan pitää sitä, että jokaisen puunvastaanottopisteen keskimääräiset kiintotilavuusprosentit perustuvat sinne toimitettavan puutavaran ominaisuuksiin ja luokitteluun. Lisäksi tarvittaessa ositteiden kiintotilavuusprosentit mukautuvat tehtaalle toimitettavan puuraaka-aineen ominaisuuksien, esim. järeyden, muuttuessa.

Tehtaalle saapuva puutavara jaettiin tässä tutkimuksessa vastaanottomittauksessa ositteisiin puutavaralajin, pituuden (määräpituinen 3-metrinen ja vapaamittainen rankapuu n. 5 m), läpimittaluokan (2 cm:n tasaava luokitus, parittomat cm:t) ja tiiviysluokan perusteella. Esimerkiksi kuusikuitupuulla oli käytössä seuraava osite: 3-metrinen, läpimittaluokka 13 cm ja tiiviysnormaali. Tiiviysluokkia oli käytössä kolme (harva, normaali ja tiivis), ja se sisälsi nykyisessä pinomittausohjeessa erikseen määriteltävät pinotiiviyyttä kuvaavat tekijät: mutkaisuuden, ladonnan, oksaisuuden ja karsinnan. Vastaanottomittauksessa tehdasmittaja mittasi nippujen kehystilavuudet nykyisen pinomittausohjeen mukaisesti ja määrittäsi silmävaraisesti luokitustekijät (läpimitta-, tiiviysluokka) edellä kuvatun mukaisesti. Luokitusohjeet ja ositejako voidaan laatia tehdaskohtaisesti kuten puutavaran laatua määrittäessä laatuositemenetelmällä.

Käytössä olevat ositeluokittaiset kiintotilavuusprosentit päivittyivät satunnaisesti otantaan valittujen näytenippujen mittausten mukaan. Eri ositteiden otantasuhde voi olla erilainen. Käytettävä ositeluokittainen kerroin laskettiin tässä viiden viimeisimmän otannan liukuvana keskiarvona ja nk. 7/5-otannalla tai nk. 14/10-otannalla. 7/5-otannassa jätetään pienin ja suurin havainto pois laskennasta ja vastaavasti 14/10-otannassa jätetään taas kaksi pienintä ja kaksi suurinta havaintoa pois. Toisin sanoen 7/5- ja 14/10-otanta-

menettelyissä ”outlierit” jätetään laskennan ulkopuolelle niiden mahdollisen vääristävän vaikutuksen vuoksi. Kyseistä otantamenettelyä käytetään nykyisin ainakin laatuositemenetelmässä ja paino-otantamittauksessa.

Satunnaisesti otantaan valitun nipun korkeutena ja leveytenä käytettiin tutkimuksen laskennoissa perusmittauksesta saatuja tuloksia. Otantanipun pituus määritettiin nipussa olevien pölkkyjen tilavuudella painotettuna keskipituutena. Näillä mittaustuloksilla pystyttiin laskemaan otantanipulle verran tarkka kehystilavuus, jolloin kiintotilavuusprosentti saatiin otantanipun kiintotilavuuden ja kehystilavuuden suhteena. Otantanipun kiintotilavuus saatiin tässä pölkkytään mittauksella keskuskiintomittausta käyttäen.

Tutkitun menetelmän tärkeimpänä etuna voidaan pitää pinomittauksessa käytettävien subjektiivisesti määritettävien pinotiheystekijöiden korvautumista yksinkertaisemmalla tiiviysluokituksella. Nykyisin käytettävä pinomittaus ei myöskään reagoi mitenkään otantamittaustuloksiin, jolloin mittaaja voi joutua joissakin yksittäisissä ja poikkeavissa tilanteissa hakemaan oikean mittaustuloksen kehystilavuuden tai pinotiheystekijöiden määrityksen avulla. Ositettu kehysotantamittaus puolestaan reagoisi mahdollisiin muutoksiin puutavaran ominaisuuksissa päivittyvien kertoimien kautta. Tällöin ei olisi edes tarvetta poikkeavissakaan tilanteissa keinotella esim. pinotiheystekijöiden määrittämisessä oikean kiintotilavuusprosentin saamiseksi. Otantasuhde ositetussa kehysotannassa voisi olla pienempi kuin painoon perustuvassa otannassa, koska vuodenajan mukaista vaihtelua on pinotiiviydessä selkeästi vähemmän kuin tuoretiheydessä.

4.2 Tutkimusaineisto

Ositettu kehysotantamittaus oli tutkimuksen aikana koekäytössä kahden eri tehtaan puuvastaanotossa rinnakkain niillä käytössä olevan normaalin pinomittausmenetelmien kanssa. Ainoa mittauksessa kerättävä lisätieto oli kuitenkin nipun tiiviysluokka. Kuusikuitupuun tutkimusaineistoa kerättiin Myllykoski Paper Oy:n tuotantolaitokselta ja mänty- ja koivukuitupuun osalta Oy Metsä-Botnia Ab:n Kaskisten sellutehtaalta. Tutkimusaineiston keruusta vastasi käytännössä Myllykoski Paper Oy:n tehtaan puuvastaanotossa Metsäliitto-Yhtymän Tehdasmittaus Oy ja Oy Metsä-Botnia Ab:n Kaskisten mitta-aseamalla Mittaportti Oy, joiden tehtävänä on kyseisille tehtailla tulevan puuraaka-aineen mittaaminen. Aineiston keruun yhteydessä saatiin myös kokemusta ositetun kehysotantamittauksen soveltuvuudesta kuitupuun mittaukseen.

Tutkimusaineiston keruu aloitettiin syyskuussa 2001 ja sitä jatkettiin Myllykoskella kesään 2002 ja Kaskisissa syksyyn 2002 asti. Tutkimusaineisto koostui määräpituusista 3-metrisistä kuitupuunipuista ja vapaapituusista, pitkästä kuitupuuta (n. 3,0 - 5,5 m) sisältävistä nipuista. Tutkimusaineiston kokonaismäärä perusmittauksessa ja otantamittauksessa sekä niiden välinen ero on esitetty taulukossa 4 puutavaralajeittain. Taulukossa 4 on myös eritelty nippujen jakaantuminen pituus- ja tiiviysluokkiin.

TAULUKKO 4 Tutkimusaineisto ositetussa kehysotantamittauksessa.

Puutavara- laji	Pinomittaus- ajoneuvossa, m ³	Otanta- mittaus, m ³	Kokonais- ero, %	Nippuja, kpl			
				Yht.	Tiiviysluokka		
					Tiivis	Nor- maali	Harva
KOK, 3 m	6 479,8	6 516,1	- 0,6	667	164	415	88
KOK, 5 m	746,1	745,3	0,1	53	7	31	15
MÄK, 3 m	586,5	581,2	0,9	56	13	34	9
MÄK, 5 m	1 229,2	1 221,9	0,6	84	10	57	17
KUK, 3 m	708,1	702,9	0,7	65	12	45	8
KUK, 5 m	2 278,0	2 291,5	- 0,6	143	37	96	10
Haapa, 3 m	454,5	464,0	- 2,0	45	12	26	7
Haapa, 5 m	32,9	31,8	3,5	2	1	1	-

Tutkimusaineistoa voitiin kerätä kaikkiaan 30:een eri ositeluokkaan jokaista puutaveralajia kohden. Se keskittyi luonnollisesti tiettyihin läpimitta- ja tiiviysluokkiin. Koivun osalta aineisto painottui selvästi 3-metriseen kuitupuuhun läpimittaluokkien ollessa useimmiten joko alle 12,0 cm, 12,1 - 14,0 cm tai 14,1 - 16,0 cm. Eniten koivukuitupuunippuja kertyi normaali-tiiviysluokkaan. Yleisin ositeluokka koko tutkimusaineistossa oli 3-metrinen koivukuitupuunippu, jonka keskiläpimitta oli 13 cm ja nipun tiiviys normaali. Mäntykuitupuuta oli tutkimusaineistossa vähiten pois lukien haapa. Männyn osalta havaintonippuja kertyi eniten mäntykuitupuurangalle, jonka keskiläpimitta oli 13 cm (luokka 12,1 - 14,0 cm) ja tiiviys normaali. Kuusen osalta vallitseva osite oli kuitupuuranka nipun keskiläpimitan ollessa 13 cm ja tiiviysnormaali.

Ositetussa kehysotantamittauksessa käytetyt ositeluokat ja niihin kerätty tutkimusaineisto on esitetty yksityiskohtaisemmin liitteissä 2 - 6. Tutkimusaineiston kokonaismäärä ositeluokittain perus- ja otantamittauksessa sekä niiden välinen ero on kuvattu liitteessä 2. Liitteissä 3 - 6 on esitetty puutaveralajeittain ositeluokkien keskimääräiset kiintotilavuusprosentit, niiden minimi- ja maksimiarvot sekä kunkin ositteen nippujen kiintotilavuusprosenttien keskihajonta.

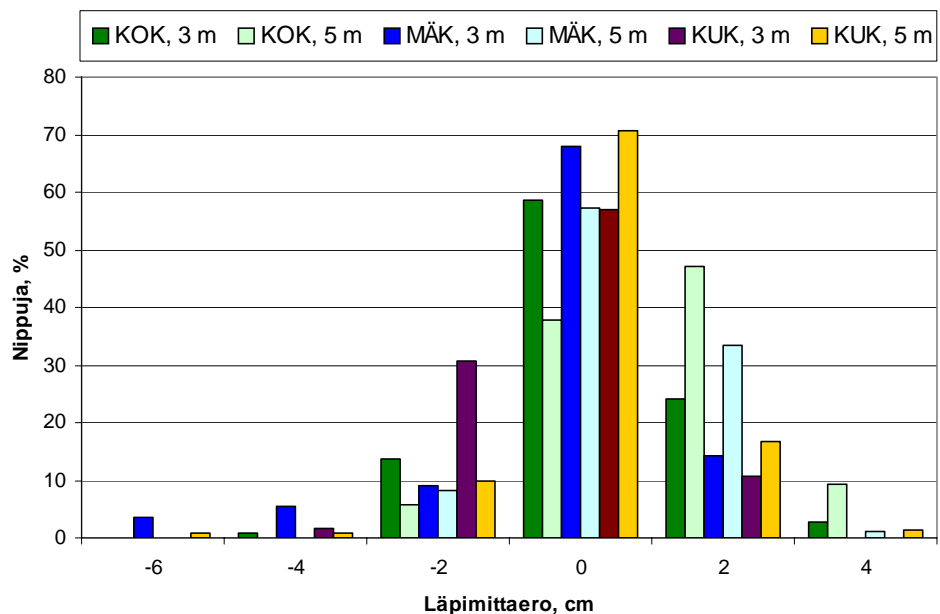
Keskimääräiset kiintotilavuusprosentit läpimittaluokan sisällä etenevät loogisesti ositeluokissa, joissa on riittävästi nippuja. Tämä käy ilmi liitteistä 3 - 6. Kuitenkin ositeluokkien kiintotilavuusprosenttien keskihajonnat ovat varsin suuret. Esimerkiksi määräpituisten 3-metrinen koivukuitupuuositteen, jonka läpimittaluokka on 12,1 - 14,0 cm ja tiiviys normaali, hajonta on 3,6 %-yksikköä (liite 3). Nippuja kyseiseen ositteeseen on mitattu 176 kappaletta keskimääräisen kiintotilavuusprosentin ollessa 57,3 %. Tällöin 7 nipulla kymmenestä (tarkemmin 68 % nipuista) kiintotilavuusprosentti on välillä 53,7 - 60,9 % olettaen nippujen jakautuneen normaalisti. Kyseistä vaihteluväliä voidaan pitää sangen isona.

Tutkimusaineistoa kerättiin kattavasti eri vuodenaajoilta ja tutkimukseen valittujen nippujen lukumäärä ja kokonaistilavuus oli varsin suuri taulukon 4 mukaisesti. Kuitenkin ositetun kehysotantamittauksen simulointi eri menetelmillä vaati laajaa aineistoa, jotta eri ositeluokkiin olisi saatu riittävästi nippuja. 14/10-otanta vaati 15 nippua ositeluokkaan, jotta ensimmäinen arvo saatiin laskettua. Tämän vuoksi lopullisessa tarkastelussa (luku 4.4) koivukuitupuuran ja määräpituisen 3-metrisen mäntykuitupuun tulokset ovat korkeintaan suuntaa-antavia varsin vähäisen tutkimusaineiston vuoksi. Vastaavasti määräpituisen 3-metrisen koivukuitupuun ja kuusikuitupuuran osalta tutkimusaineistoa saatiin kerättyä hyvin.

4.3 Nippujen mittauksen tarkkuus

Tutkimuksessa selvitettiin nippujen kehystilavuuden, lähinnä pituuden, ja nippujen pölkkyjen keskiläpimitan määrittämisen oikeellisuutta. Nippujen järeys määritettiin tehtaiden puuvastaanotoissa verraten tarkasti. Tehdasmittaaja määrittäi kunkin nipun keskiläpimitan käyttäen tasaavaa 2 cm:n luokitusta (parittomat cm:t). Lähes poikkeuksetta kaikkien nippujen keskiläpimitta määritettiin oikeaan tai viereiseen läpimittaluokkaan kuvan 1 mukaisesti.

Miinusmerkkinen läpimittaero tarkoittaa, että perusmittauksessa nipun keskiläpimita on määritetty liian pieneksi. Nipun pölkkyjen todellinen keskiläpimita saatiin selville otantamittausten avulla. Seuraavan sivun asetelmassa on esitetty nipun pölkkyjen keskiläpimitan määrittämisen osumatarkkuus, toisin sanoen kuinka suuri osuus tutkimusnipuista mitattiin perusmittauksessa oikeaan läpimittaluokkaan.



Kuva 1. Läpimittaluokan määrittämisen tarkkuus puutavaralajeittain.

Puutavaralaji	Osumatarkkuus, %
KOK, 3 m	59
KOK, 5 m	38
MÄK, 3 m	68
MÄK, 5 m	57
KUK, 3 m	57
KUK, 5 m	71

Mäntykuitupuurankaa sisältävistä nipuista kolmasosan keskiläpimitta määritettiin yhtä läpimittaluokkaa (+2 cm) liian suureksi perusmittauksessa ja pitkää koivukuitupuuta sisältävistä nipuista lähes joka toisen nipun järeys yliarvioitiin viereiseen luokkaan. Määräpituusista 3-metrisistä kuusikuitupuunipuista kolmasosan järeys määritettiin yhtä läpimittaluokkaa liian pieneksi perusmittauksessa. Tutkimusaineiston perusteella yhdelläkään perusmittaajalla ei kuitenkaan havaittu systemaattista virhettä läpimittaluokan määrittämisessä. Kuusikuitupuun tutkimusaineistoa keräsi kuusi eri tehdasmittaaja ja mänty- ja koivukuitupuunaineiston keruuseen otti osaa 12 henkilöä.

Kuusikuitupuun osalta tehtiin vertailu, mitä nipun pituuden laskeminen eri tavoilla vaikuttaa. Otantamittaustietojen perusteella nipun pituus laskettiin sekä pölkkyjen tilavuudella painotettuna keskipituutena että nipun pölkkyjen pituuden aritmeettisena keskiarvona. Perusmittauksessa määritettyä nipun pituutta ja aritmeettista keskipituutta verrattiin tässä pölkkyjen tilavuudella painotettuun keskipituuteen. Seuraavassa taulukossa on esitetty nipun pituuden keskimääräinen ero, keskihajonta sekä minimi- ja maksimiero molemmilla laskentavaihtoehdoilla suhteessa nipun pölkkyjen tilavuudella painotettuun keskipituuteen.

Perusmittauksessa määritetty kuusikuitupuunipun pituus vastaa pitkälti nipun pölkkyjen aritmeettista keskipituutta, koska tulokset ovat varsin samansuuntaiset (taulukko 5). Pitkää kuusikuitupuurankaa sisältävien nippujen pituus määritettiin tämän perusteella perusmittauksessa lyhyemmäksi kuin nipun pölkkyjen tilavuudella painotettu keskipituus.

TAULUKKO 5 Perusmittauksessa määritetyt ja aritmeettisesti lasketut kuusikuitupuunipun keskimääräiset pituuserot, hajonnat sekä minimi- ja maksimiarvot verrattuina nipun pölkkyjen tilavuudella painotettuun keskipituuteen.

Puutavara-laji	Nippuja, kpl	Keskimäär. ero, cm	Keskihajonta, cm	Minimiero, cm	Maksimiero, cm
Pituus perusmittauksesta					
KUK 3 m	65	0,1	3,3	-11,0	9,0
KUK 5 m	143	-17,0	13,6	-51,0	28,0
Aritmeettinen keskipituus					
KUK 3 m	65	-0,7	0,6	-2,0	1,0
KUK 5 m	143	-20,6	7,4	-37,0	0,0

4.4 Laskenta-aineisto ositetussa kehysotannassa

Tulosten laskennassa simuloitiin mittaus ositetulla kehysotannalla ja näin saatua mittaustulosta verrattiin otannasta saatuun todelliseen kiintotilavuuteen. Otantanippujen kiintotilavuusprosentin laskennassa käytettiin nipun pituutena pölkkyjen tilavuudella painotettua keskiarvoa ja nipun leveytenä ja korkeutena perusmittauksessa määritettyjä mittaustuloksia. Ositeluokittaisen keskimääräisen kiintotilavuusprosentin laskennassa kokeiltiin viiden viimeisimmän otannan liukuvaa keskiarvoa, 7/5-otannalla saatavaa keskiarvoa (laskennasta jätetään pois pienin ja suurin havainto) ja 14/10-otannalla saatavaa keskiarvoa (laskennasta jätetään pois 2 pienintä ja 2 suurinta havaintoa). Jokaisessa laskentavaihtoehdossa ositeluokan kiintotilavuusprosentti päivittyi otannan mukaan.

Kolmella eri tavalla tehdyt laskennat (liukuva, 7/5- ja 14/10-otannat) on yhdistetty jatkotarkasteluissa. Tällöin mukana olevien nippujen lukumäärä on selvästi pienempi kuin kokeilun yhteydessä kerätty tutkimusaineisto (luku 4.2) johtuen juuri ositeluokittain tehdystä mittauksen simuloinnista. Esimerkiksi kokeiltu 14/10-otanta vaati vähintään 15 havaintoa ositeluokkaa kohti, ennen kuin sitä voitiin käyttää laskennassa. Näin toimien eri laskentavaihtoehtojen väliset tunnusluvut saatiin keskenään vertailukelpoisiksi käyttämällä niiden laskennassa samaa aineistoa. Lopullisessa tarkastelussa käytetyn aineiston kokonaismäärä on kuvattu taulukossa 6 tavaralajeittain ja menetelmittain. Lisäksi siinä on verrattu menetelmittain mitattuja kokonaismääriä otantamittauksella saatuun kokonaistilavuuteen, jonka perusteella on laskettu kokonaismittaerot.

TAULUKKO 6 Laskennassa käytetyn aineiston kokonaismäärä puutavaralajeittain ja menetelmittain sekä keskimääräiset mittaerot otantamittaukseen verrattuna.

Menetelmät	Puutavaralaji					
	KOK 3 m	KOK 5 m	MÄK 3 m	MÄK 5 m	KUK 3 m	KUK 5 m
Otantamittaus, m ³	5 005,3	86,9	19,2	286,4	251,0	1 219,4
Nippujen lukumäärä	513	6	2	18	23	75
Keskim. nipun koko, m ³	9,8	14,5	9,6	15,9	10,9	16,3
Pinomittaus ajo- neuvossa, m ³	4 966,4	87,9	19,9	282,3	251,0	1 212,1
Kokonaismittaero, m ³	-38,9	1,0	0,7	-4,1	0,0	-7,3
Kokonaismittaero, %	-0,8	1,2	3,5	-1,4	0,0	-0,6
Ositettu kehysotantamittaus						
Liukuva, m ³	5 031,6	83,6	20,3	309,5	250,6	1 177,1
Kokonaismittaero, m ³	26,3	-3,4	1,0	23,2	-0,5	-42,3
Kokonaismittaero, %	0,5	-3,9	5,6	8,1	-0,2	-3,5
7/5-otanta, m ³	5 028,2	81,3	19,9	308,4	250,8	1 179,2
Kokonaismittaero, m ³	22,9	-6,5	0,7	22,0	-0,3	-40,2
Kokonaismittaero, %	0,5	-6,4	3,6	7,7	-0,1	-3,3
14/10-otanta, m ³	5 027,7	88,9	19,7	305,3	250,6	1 180,9
Kokonaismittaero, m ³	22,4	2,0	0,5	18,9	-0,5	-38,5
Kokonaismittaero, %	0,4	2,2	2,8	6,6	-0,2	-3,2

Pitkällä mäntykuitupuurangalla (MÄK 5 m) kokonaismittaero oli suhteellisesti selvästi suurempi ositetuissa kehysotantamittausmenetelmissä kuin pinomittauksessa taulukon 6 mukaan. Tosin mäntykuitupuurankaa oli tarkastelussa mukana vain 18 nippua.

Kuusikuitupuurangalla kokonaistilavuus määritettiin liian pieneksi kokeiluissa menetelmissä kokonaismittaeron ollessa vähintään $-3,0\%$. Suhteellinen mittaero pitkällä kuusikuitupuulla oli pinomittauksessa selvästi pienempi. Luotettavimmat tulokset saatiin määräpituisten 3-metrinen koivukuitupuun osalta kattavan tutkimusaineiston ansiosta. Tämän perusteella mittausmenetelmät eivät sisältäneet systemaattista mittaeroa, koska 3-metrillä koivukuitupuulla kokonaismittaerot olivat erittäin pienet jokaisella menetelmällä.

4.5 Tulokset

Tutkimusaineistosta (luku 4.4) lasketut tunnusluvut ositetuille kehysotantamittausmenetelmille (viiden viimeisen liukuva keskiarvo, 7/5- ja 14/10-otannat) ja pinomittaukselle on esitetty taulukossa 7. Siihen on laskettu puutavaralajeittain ja menetelmittäin nippujen tilavuuden keskimääräiset mittaerot ja niiden keskihajonnat, variaatioprosentit sekä keskivirheet. Keskimääräinen mittaero ilmaisee, kuinka paljon nipun kiintotilavuus kyseisessä menetelmässä poikkeaa keskimäärin otantamittauksessa määritetystä tilavuudesta. Keskihajonta kuvaa tässä yksittäisten nippujen mittaustulosten hajontaa keskimääräisen mittaeron ympärillä. Sen perusteella voidaan päätellä, kuinka paljon mittaeroprocentit nippujen välillä poikkeavat toisistaan.

Taulukossa 7 variaatioprosentti kertoo puolestaan, kuinka monta prosenttia keskihajonta on keskimääräisestä nipusta. Toisin sanoen sillä kuvataan nippukohtaista hajontaa keskimääräisen nipun ympärillä. Keskimääräisinä nippujen kokoina laskennoissa on käytetty otantamittauksien perusteella määritettyjä nippujen keskitilavuuksia, jotka löytyvät taulukosta 6. Keski-
virhettä eli keskiarvon keskihajontaa on tarvittu taulukossa 8 esitettävien luottamusvälien laskennassa.

TAULUKKO 7 Ositetun kehysotantamittauksen ja pinomittauksen nippujen tilavuuden keskimääräiset mittaerot ja niiden keskihajonnat, variaatioprosentit sekä keskivirheet otantamittaukseen verrattuna puutavaralajeittain.

Menetelmät	Puutavaralaji					
	KOK 3 m	KOK 5 m	MÄK 3 m	MÄK 5 m	KUK 3 m	KUK 5 m
Nippujen lukumäärä	513	6	2	18	23	76
Pinomittaus ajoneuvossa						
Keskim. mittaero, %	-0,4	0,2	3,9	-1,5	0,0	-0,4
Eron keskihajonta, %-yks.	6,0	7,2	2,6	4,4	3,7	5,4
Variaatioprosentti, %	6,0	6,4	1,3	4,5	3,8	5,2
Keskivirhe, %	0,3	3,0	1,8	1,0	0,8	0,6
Ositettu kehysotantamittaus						
Liukuva						
Keskim. mittaero, %	1,0	2,7	5,5	8,0	-0,1	-3,3
Eron keskihajonta, %-yks.	7,9	6,2	0,8	5,5	3,2	6,3
Variaatioprosentti, %	7,7	6,4	2,7	5,7	3,2	6,1
Keskivirhe, %	0,3	2,5	0,6	1,3	0,7	0,7
7/5-otanta						
Keskim. mittaero, %	1,0	0,2	3,4	7,6	0,0	-3,1
Eron keskihajonta, %-yks.	7,7	5,9	1,1	6,1	3,6	6,3
Variaatioprosentti, %	7,5	6,0	2,3	6,4	3,7	6,1
Keskivirhe, %	0,3	2,4	0,8	1,4	0,7	0,7
14/10-otanta						
Keskim. mittaero, %	0,9	1,6	2,6	6,6	-0,1	-3,0
Eron keskihajonta, %-yks.	7,5	7,4	0,8	5,4	3,1	6,0
Variaatioprosentti, %	7,3	7,3	1,7	5,6	3,1	5,8
Keskivirhe, %	0,3	3,0	0,6	1,3	0,6	0,7

Taulukossa 7 olevat menetelmäkohtaiset keskihajonnat ja variaatioprosentit puutavaralajeittain ovat lukuarvoina hyvin lähellä toisiaan, osin jopa samoja, erityisesti niillä puutavaralajeilla, joihin on mitattu paljon tutkimusnippuja. On korostettava, että taulukossa 7 olevia pitkän koivukuitupuuran (KOK 5 m) ja määräpituisen mäntykuitupuun (MÄK 3 m) hajontalukuja voidaan pitää korkeintaan suuntaa-antavina vähäisen tutkimusaineiston vuoksi.

Esimerkiksi pinomittauksessa määräpituaisella koivukuitupuulla (KOK 3 m) keskihajonta on 6,0 %-yksikköä taulukon 7 mukaan. Tällöin 7 nippua kymmenestä (68 % nipuista) on mitattu 95 %:n luotettavuudella siten, että keskimääräinen mittaero vaihtelee välillä -6,4 ... 5,4 %. Vastaavasti variaatioprosentin ollessa 6,0 % on 7 nippua kymmenestä mitattu tällöin 95 %:n luotettavuudella $9,2 \text{ m}^3 - 10,4 \text{ m}^3$ ”sisään” keskimääräisen nipun ollessa $9,8 \text{ m}^3$.

Määräpituisella 3-metrisellä koivukuitupuulla nippujen tilavuuden keskimääräisen mittaeron hajonta oli vähintään 1,5 prosenttiyksikköä suurempi kokeilluissa kehysotantamittausmenetelmissä kuin pinomittauksessa, kuten taulukosta 7 ilmenee. Tulos on varsin luotettavana, koska 3-metrisiä koivukuitupuunippuja oli selvästi eniten tutkimusaineistossa. Ositetun kehysotantamittauksen tarkkuus on tämän perusteella heikompi kuin perinteisen pinomittauksen.

Tutkimusaineistoon mäntykuitupuuta (pois lukien haapa) kertyi kaikkein vähiten, koska mäntykuitupuun käyttö tutkimusaineistoa keränneellä tehtaalla oli jo silloin hyvin vähäistä verrattuna koivuun. Nippukohtaista hajontaa kuvaava variaatioprosentti pitkällä mäntykuitupuurangalla oli yli 1,0 prosenttiyksikköä suurempi ositetuissa kehysotantamittausmenetelmissä kuin pinomittauksessa.

Määräpituisella 3-metrisellä kuusikuitupuulla nippujen tilavuuden keskimääräisen mittaeron hajonnat olivat menetelmittain varsin pienet (3,1 - 3,7 %-yksikköä), ja tutkimuksessa mukana olleista puutavaralajeista se mitattiin tarkimmin mittaeron ja keskihajonnan perusteella sekä pinomittauksessa että tutkituissa kehysotantamenetelmissä. Määräpituisen kuusikuitupuun keski- virhe oli selvästi suurempi kuin määräpituisen koivukuitupuun, mutta keski- virhe pienenee otosmäärän lisääntyessä. Määräpituisia koivukuitupuunippuja oli lukumääräisesti paljon enemmän kuin 3-metrisiä kuusikuitupuunippuja. Kuusikuitupuurangan osalta nippujen tilavuuden keskimääräisen mittaeron hajonnat olivat hieman alle 1,0 prosenttiyksikköä suuremmat kokeilluissa kehysotantamenetelmissä kuin pinomittauksessa.

Kuusikuitupuulle tehtiin lisäksi vaihtoehtoinen laskenta. Siinä otantanippujen kiintotilavuusprosentin laskennassa käytettiin nipun pituutena perusmittauksessa mitattua pituutta eikä nipun pölkkyjen tilavuudella painotettua keskipituutta. Laskentatavan muutos ei pienentänyt hajontaa lainkaan, joten sekään ei selittänyt ositetujen kehysotantamenetelmien heikompia tuloksia verrattuna pinomittaukseen.

Seuraavaan taulukkoon on laskettu luottamusvälit eri puutavaralajeille 95 %:n luotettavuustasolla menetelmittain. Luvut siinä tarkoittavat, että esimerkiksi pinomittauksessa 3-metrisillä kuusikuitupuunipuilla 95 % nippujen keskimääräisistä mittaeroista on välillä -1,5 %...1,6 %. Pinomittauksen kokonaistilavuuden määrittämisen voidaan todeta taulukon 8 perusteella olleen kohdallaan kaikilla puutavaralajeilla. Ositetuilla kehysotantamittausmenetelmillä on havaittavissa 3-metrisellä koivukuitupuulla lievää yliarviota ja vastaavasti kuusikuitupuurangan osalta lievää aliarviota tämän tutkimusaineiston mukaan. Myös mäntykuitupuurangalla voidaan havaita yliarviota tutkituissa kehysotantamittausmenetelmissä, mikä käy ilmi taulukosta 8.

TAULUKKO 8 Luottamusvälit keskimääräisen mittaeron suhteen 95 %:n luotettavuustasolla puutavaralajeittain ja menetelmittain.

Puutavara- laji	Luottamusvälit							
	Pinomittaus		Ositettu kehysotantamittaus					
			Liukuva		7/5-otanta		14/10-otanta	
KOK, 3 m	-0,9	0,2	0,3	1,7	0,3	1,7	0,3	1,6
KOK, 5 m	-5,6	5,9	-2,3	7,7	-4,5	4,9	-4,3	7,5
MÄK, 3 m	0,3	7,5	4,3	6,7	1,8	5,0	1,5	3,8
MÄK, 5 m	-3,6	0,5	5,5	10,5	4,8	10,5	4,1	9,1
KUK, 3 m	-1,5	1,6	-1,4	1,2	-1,5	1,4	-1,4	1,1
KUK, 5 m	-1,6	0,8	-4,7	-1,9	-4,5	-1,7	-4,3	-1,6

Ositettujen kehysotantamittausmenetelmien ja pinomittauksen välisten erojen tarkempaa analysointia varten tehtiin tilastollinen tarkastelu. Siihen valittiin ne ositeluokat, joihin oli mitattu vähintään 30 puutavaranippua. T-testi tutkittavien menetelmien ja pinomittauksen eroista tehtiin kaikkiaan 11 eri ositeluokalle. Tämän perusteella ei kuitenkaan voitu asettaa ositetun kehysotantamittauksen eri laskentavaihtoehtoja paremmuusjärjestykseen.

Taulukossa 9 on esitetty, kuinka monta prosenttia nipuista on mitattu ± 4 %:n ja ± 10 %:n tarkkuudella puutavaralajeittain ja menetelmittain suhteessa otantamittaukseen. Lisäksi nippujen tilavuuserojen minimi ja maksimi puutavaralajeittain ja menetelmittain on kuvattu taulukossa mittaerojen vaihteluna. Pinomittaus ajoneuvossa näyttäisi tämänkin perusteella olevan ositettua kehysotantamittaukseen tarkempi menetelmä, vaikka siinäkin ei läheskään aina päästä nykyisin vaadittuun mittaustarkkuuteen (± 4 %). Lisäksi taulukosta 9 käy myös hyvin ilmi yleisesti tunnettu tosiasia, että yksittäisten ja poikkeavien nippujen osalta varsin suuretkin suhteelliset mittaerot ovat luonnollisia käytännön mittaustoiminnassa.

TAULUKKO 9 Nippukohtainen mittaustarkkuus pinomittauksessa ja ositetussa kehysotantamittauksessa otantamittaukseen verrattuna puutavaralajeittain.

Menetelmät	Puutavaralaji					
	KOK 3 m	KOK 5 m	MÄK 3 m	MÄK 5 m	KUK 3 m	KUK 5 m
Nippujen lukumäärä	513	6	2	18	23	76
Pinomittaus ajoneuvossa	4 %:n tarkkuudella mitattujen nippujen osuus, %					
	49,9	33,3	50,0	66,7	69,6	54,0
Ositettu kehysotantamittaus						
- Liukuva	45,4	66,7	0	22,2	82,6	34,2
- 7/5-otanta	46,4	50,0	50,0	22,2	73,9	29,0
- 14/10-otanta	47,2	33,3	100	33,3	87,0	40,8
Pinomittaus ajoneuvossa	10 %:n tarkkuudella mitattujen nippujen osuus, %					
	91,4	100	100	100	100	97,4
Ositettu kehysotantamittaus						
- Liukuva	86,2	83,3	100	61,1	100	88,2
- 7/5-otanta	85,8	83,3	100	61,1	100	89,5
- 14/10-otanta	88,3	66,7	100	72,2	100	89,5
Puutavaralaji	Nippujen tilavuuden mittaerojen vaihtelu, %					
	Pino	Liukuva	7/5-otanta	14/10-otanta		
KOK, 3 m	-17,4...21,2	-17,1...33,5	-18,7...31,2	-19,8...28,9		
KOK, 5 m	-9,6...8,1	-3,4...14,0	-6,5...10,2	-5,7...10,9		
MÄK, 3 m	2,1...5,8	4,9...6,1	2,6...4,2	2,0...3,2		
MÄK, 5 m	-8,8...5,5	-3,1...17,2	-3,4...20,3	-3,3...15,9		
KUK, 3 m	-8,1...4,9	-6,9...6,2	-8,5...6,8	-8,1...5,2		
KUK, 5 m	-14,5...21,2	-16,1...23,4	-15,3...23,4	-15,6...24,3		

5 PÄÄTELMÄT

Ositettu kehysotantamittaus eri laskentavaihtoehtojilla oli tarkkuudeltaan heikompi kuin nykyisin käytettävä pinomittaus ajoneuvossa tämän tutkimuksen perusteella. Nippukohtaiset tilavuuden hajontaluvut olivat jokaisella puutavaralajilla (pois lukien määräpituinen 3-metrinen kuusikuitupuu) suurempia ositetun kehysotantamittausmenetelmän laskentavaihtoehtojilla (liukuva, 7/5- ja 14/10-otannat) kuin pinomittauksessa. Tutkimus vahvisti jälleen käsityksen, että koivukuitupuu on hankalampi mitattava kuin kuusi- tai mäntykuitupuu johtuen pitkälti sen poikkeavammasta runkomuodosta. Koivukuitupuunippujen tilavuuden keskimääräisen mittaeron hajonta jokaisen menetelmän sisällä oli noin 1,5 prosenttiyksikköä suurempi kuin muilla puolajeilla.

Ositetussa kehysotantamittauksessa on tämän tutkimuksen perusteella hyvin vaikeaa päästä alle 6 %:n keskihajontaan (pois lukien määräpituinen 3-metrinen kuusikuitupuu), joka on asetettu eräänlaiseksi reunaehdoksi ainakin joillakin toimijoilla. Keskihajonnat ja variaatioprosentit puutavaralajeittain 14/10-otannassa olivat hieman pienempiä kuin kahdessa muussa kokeilussa laskentavaihtoehdossa. Kuitenkin 14/10-otanta oli tämän tutkimuksen hajontalukujen perusteella heikompi kuin pinomittaus ajoneuvossa. On myös muistettava, että suurimmat mittaerot olivat samoissa nipuissa niin ositetuissa kehysotantamittausmenetelmissä kuin pinomittauksessa.

Ositetussa kehysotantamittauksessa tehdasmittaja joutui silmävaraisesti määrittämään nipun tiiviysluokan. Tämä aiheutti hajontaa kokeillon kehysotantamittauksen tuloksiin, koska tiiviysluokan määrittäminen eri mittajien kesken ei ollut täysin yhtenevää koulutuksesta huolimatta. Etenkin tutkimusaineiston keruun alkuvaiheessa tiiviysluokan määrittäminen saattoi olla vaikeaa ja tiiviysluokkaa ei aina onnistuttu määrittämään oikein.

Ositetun kehysotantamittauksen etuna voidaan pitää sen kykyä mukautua muuttuviin olosuhteisiin. Jos kuitupuusuman ominaisuudet jostakin syystä poikkeaisivat huomattavasti aikaisemmin tehtaalle saapuneesta puuraaka-aineesta, pystyisi tällöin ositettu kehysotantamittaus reagoimaan muutoksiin päivittyvien ositeluokittaisten kiintotilavuusprosenttien avulla. Kuitenkin tämän tutkimuksen tulosten mukaan tehdasmittajat osaavat käyttää nykyistä pinomittausmenetelmää varsin hyvin ja he pääsevät ammatitaitonsa ja kokemuksensa perusteella verraten hyvin oikeaan mittaustulokseen. Tehdasmittausohjeen mukaisesti perusmittauksen tarkkuustasoa seurataan satunnaisotantaan perustuvalla tarkastusjärjestelmällä. Näin toteutuu ”oppi otannasta” -periaate eli tehdasmittajat saavat palautetta perusmittaustuloksiansa tarkkuudesta.

Ositetun kehysotantamittauksen käyttö työ- ja luovutusmittauksessa edellyttäisi mitä todennäköisimmin voimassa olevan Otantaan perustuvat mittausmenetelmät -ohjeen muuttamista, koska sen mukaan otanta on suoritettava eräkohtaisesti. Tämä vaatimus johtaa käytännössä aivan liian suuriin otantamääriin pienillä mittauserillä. Tutkimuksen tulosten perusteella pinomittauksen ja sen sovellusten, kuten ositetun kehysotannan, mittaustarkkuus on vaikeasti parannettavissa nykyisin käytössä olevilla välineillä.

KIRJALLISUUS

Heikkilä, J. 2002. Puutavara-auton kuormainvaa'an käyttö pienten puutavaraerien mittauksessa. Metsäteknologian pro gradu -tutkielma. Helsingin yliopisto, metsävarojen käytön laitos. 54 s. + liitteet.

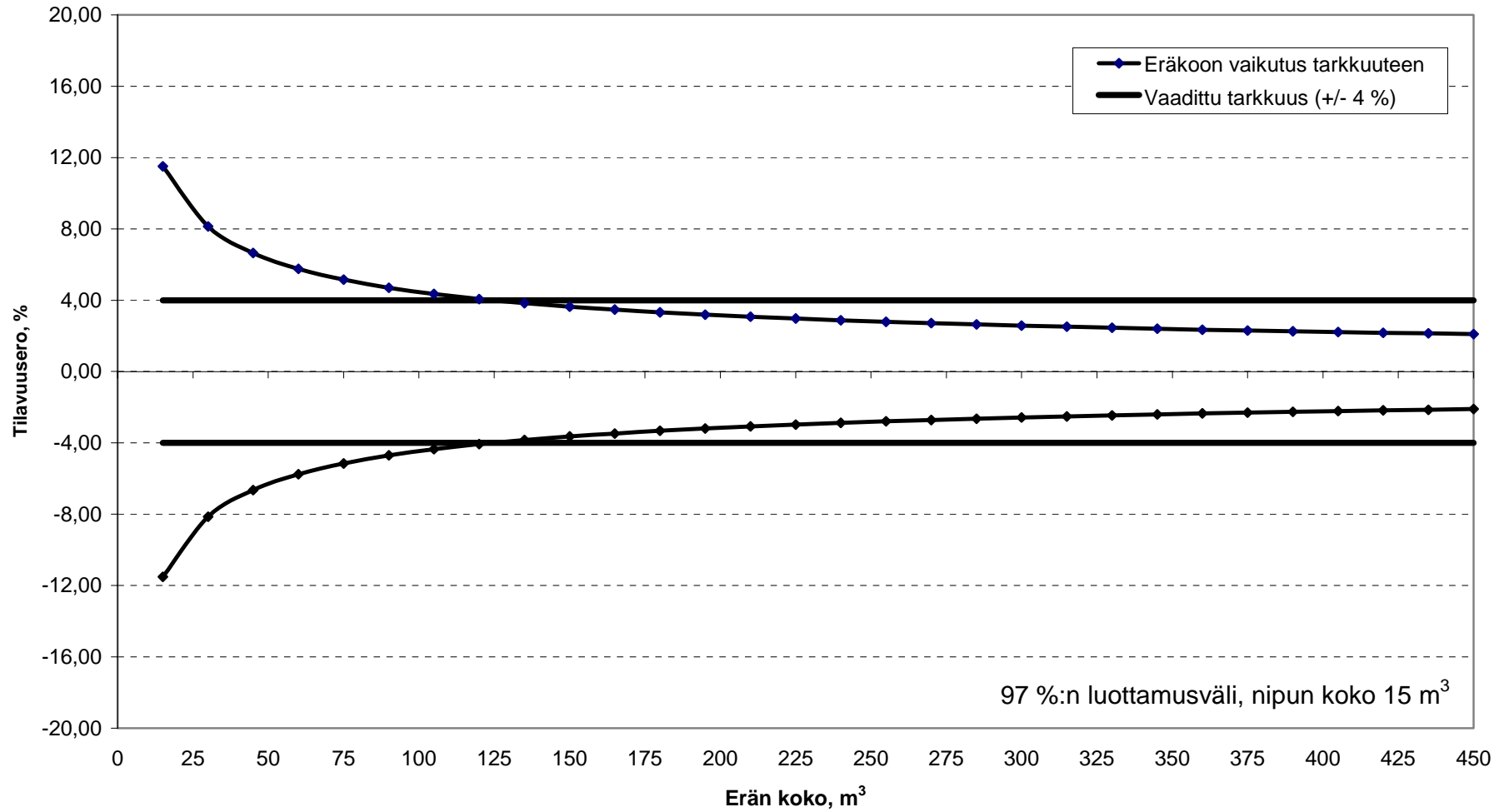
Kuitupuun pinomittaus. 2003. Metsätehon opas.16 s.

Nevalainen, M., Sairanen, P. ja Verkasalo, E. 1997. Pitkän kuitupuun ajoneuvokuormien pinomittauksen kehittäminen. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 653, 1997. 44 s.

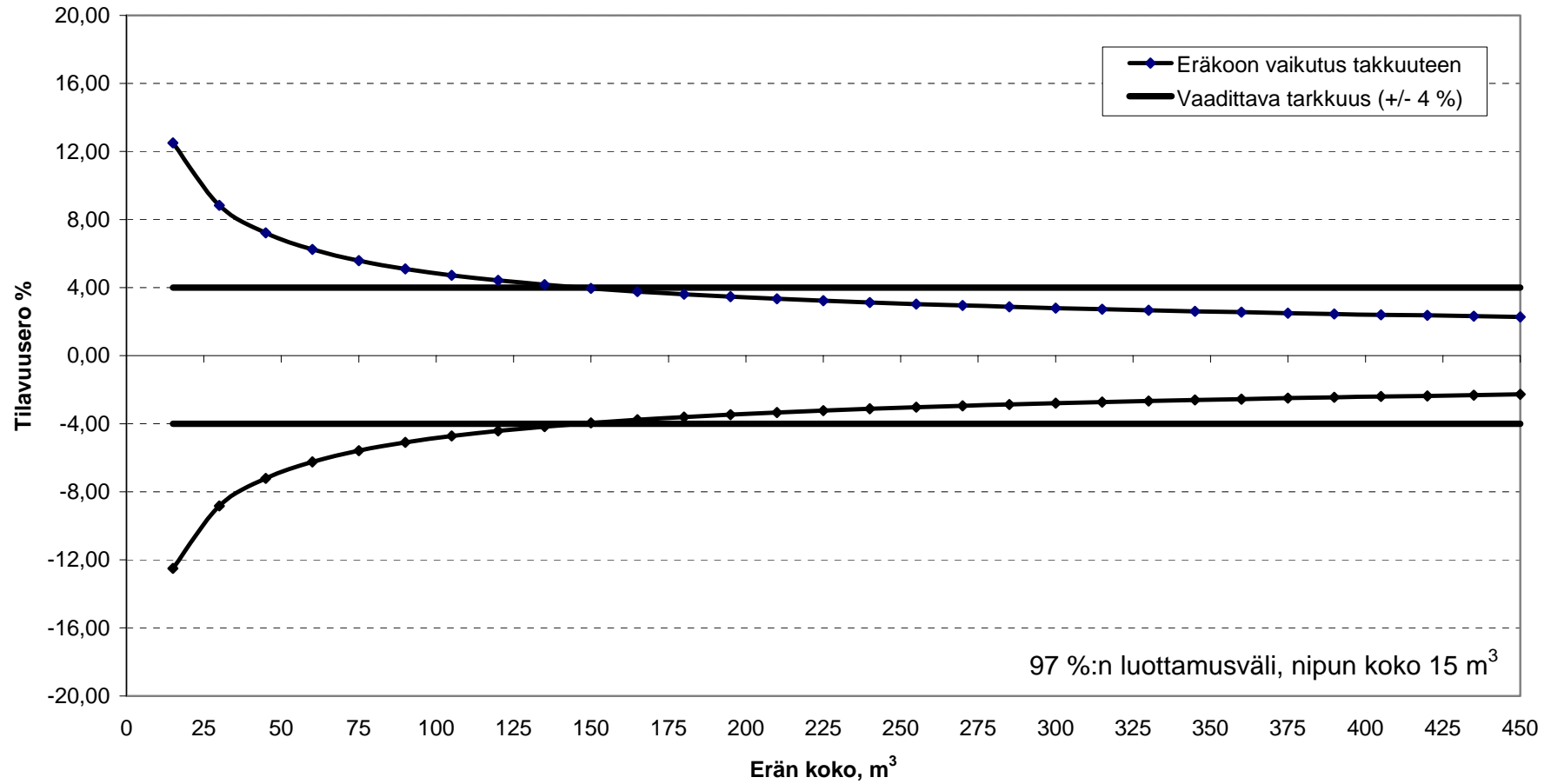
Otantaan perustuvat mittausmenetelmät.1997. Maa- ja metsätalousministeriö. Ohje 1.3.1997.

Pinomittaus. Dnro 2409/66/97 16.6.1997 Maa- ja metsätalousministeriö. Ohje 9.6.1997.

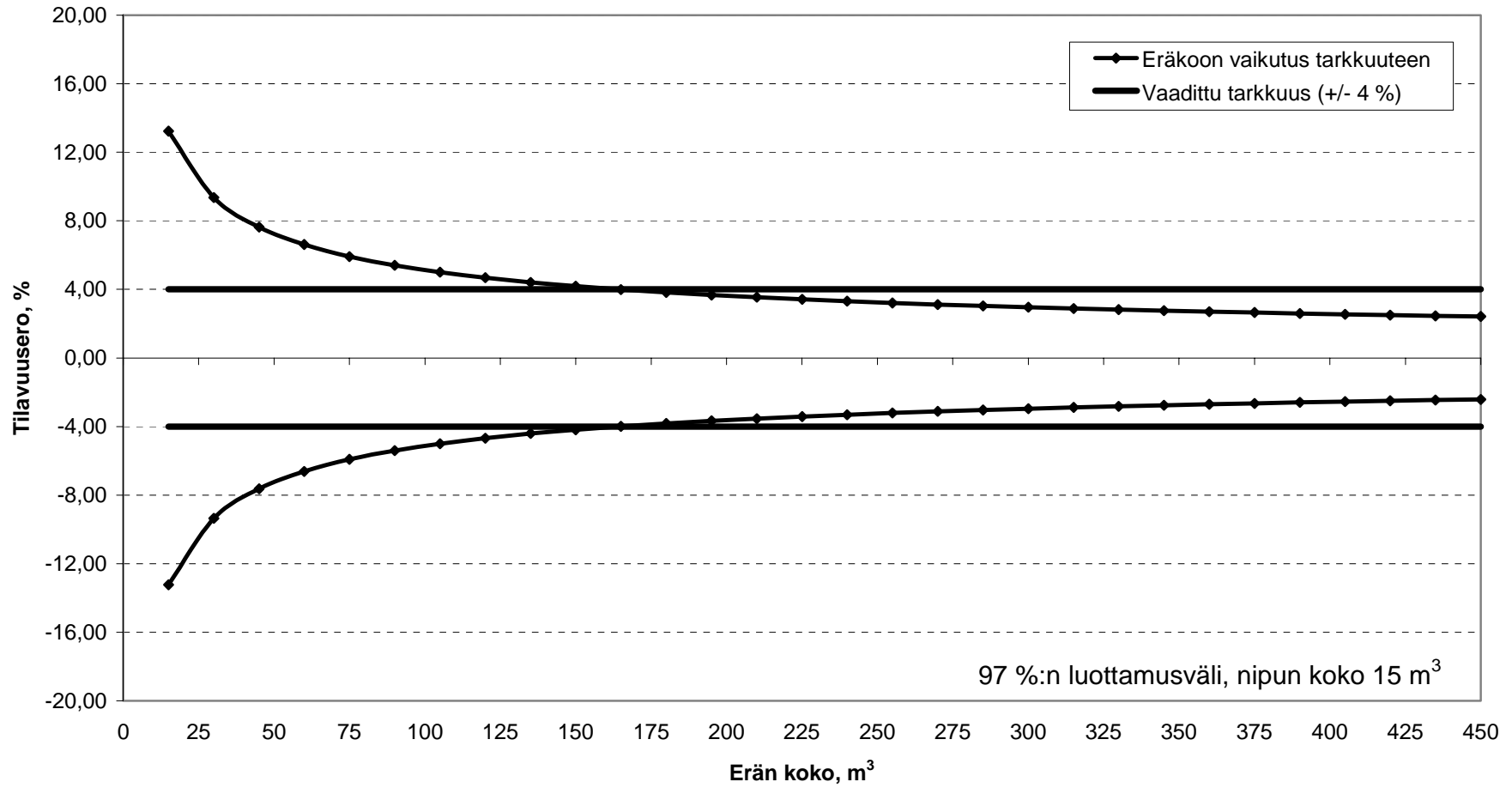
Eräkoon vaikutus mittaustarkkuuteen, pinomittaus ajoneuvossa. Kuusikuitupuu



Eräkoon vaikutus mittaustarkkuuteen, pinomittaus ajoneuvossa. Mäntykuitupuu



Eräkoon vaikutus mittaustarkkuuteen, pinomittaus ajoneuvossa. Koivukuitupuu



Tutkimusaineisto puutavaralajeittain, pituusluokittain ja tiiviy.luokittain sekä perus- ja otantamittauksessa mitatut kokonaispuumäärät ja niiden väliset erot. Lisäksi taulukossa on kuhunkin tiiviy.luokkaan kertyneiden nippujen lukumäärät puutavaralajia kohden.

Puutavara-laji	Tiiviy.luokka	Nippuja	Perusmittaus, m ³	Otanta-mittaus, m ³	Ero, m ³
HAAPA					
3 m	tiivis	12	121,3	127,4	-6,1
	normaali	26	272,4	275,4	-3,0
	harva	7	60,8	61,2	-0,4
5 m	tiivis	1	19,8	19,0	0,8
	normaali	1	13,1	12,8	0,3
KOIVU					
3 m	tiivis	164	1643,3	1668,6	-25,3
	normaali	415	4032,4	4066,8	-34,4
	harva	88	804,1	780,7	23,4
5 m	tiivis	7	100,5	101,3	-0,8
	normaali	31	432,3	432,5	-0,2
	harva	15	213,3	211,5	1,8
MÄNTY					
3 m	tiivis	13	135,7	135,2	0,5
	normaali	34	366,7	365,7	1,0
	harva	9	84,1	80,3	3,8
5 m	tiivis	10	141,8	143,7	-1,9
	normaali	57	847,2	841,5	5,7
	harva	17	240,2	236,7	3,5
KUUSI					
3 m	tiivis	12	135,5	135,2	0,3
	normaali	45	488,0	483,4	4,6
	harva	8	84,6	84,3	0,3
5 m	tiivis	37	599,8	600,3	-0,5
	normaali	96	1523,8	1536,7	-12,9
	harva	10	154,4	154,5	-0,1

Koivukuitupuun tutkimusaineisto ositeluokittain. Kussakin ositeluokassa on nippujen lukumäärä ja kyseisen ositteen keskimääräinen kiintotilavuusprosentti, sen minimi- ja maksimiarvot sekä ositeluokan nippujen kiintotilavuusprosentin keskihajonta.

Koivukuitupuu

Puu-tavara-laji	Läpimitta-luokka, cm	Tiiviys	Nippuja, kpl	Ositeluokittaiset kiintotilavuus -%			
				Keski-arvo	Pienin	Suurin	Hajonta
KOK, 3 m	-12,0	tiivis	60	56,8	45,7	64,6	3,9
		normaali	123	55,1	44,2	64,6	3,5
		harva	40	52,0	42,4	57,8	3,6
	12,1 - 14,0	tiivis	63	59,1	52,3	68,9	3,1
		normaali	176	57,3	48,2	73,0	3,6
		harva	31	54,0	44,6	62,7	4,1
	14,1 - 16,0	tiivis	31	60,8	54,6	67,3	2,9
		normaali	87	59,4	50,3	68,5	3,9
		harva	16	56,1	46,8	64,2	4,4
	16,1 - 18,0	tiivis	7	62,8	55,6	68,0	3,9
		normaali	25	58,8	52,0	67,9	3,7
		harva	1	51,2	51,2	51,2	-
	18,1 +	tiivis	3	63,6	59,8	65,8	3,3
		normaali	4	61,2	57,1	63,2	2,8
	KOK, 5 m	-12,0	tiivis	1	56,7	56,7	56,7
normaali			8	56,8	48,8	65,0	5,1
harva			7	53,8	47,2	65,3	5,8
12,1 - 14,0		tiivis	4	59,3	55,8	62,8	3,3
		normaali	19	56,3	51,1	63,0	3,4
		harva	5	58,1	55,1	61,9	2,5
14,1 - 16,0		tiivis	1	53,2	53,2	53,2	-
		normaali	3	58,3	53,0	61,2	4,6
		harva	3	55,1	53,0	56,5	1,9
16,1 - 18,0		tiivis	1	56,7	56,7	56,7	-
		normaali	1	57,8	57,8	57,8	-

Mäntykuitupuun tutkimusaineisto ositeluokittain. Kussakin ositeluokassa on nippujen lukumäärä ja kyseisen ositteen keskimääräinen kiintotilavuusprosentti, sen minimi- ja maksimiarvot sekä ositeluokan nippujen kiintotilavuusprosentin keskihajonta.

Mäntykuitupuu

Puu-tavara-laji	Läpimitta-luokka, cm	Tiiviys	Nippuja, kpl	Ositeluokittaiset kiintotilavuus -%			
				Keski-arvo	Pienin	Suurin	Hajonta
MÄK 3 m	-12,0	tiivis	6	64,1	58,3	67,2	3,4
		normaali	7	63,2	53,7	70,9	7,0
		harva	4	60,9	58,0	62,7	2,2
	12,1 - 14,0	tiivis	4	64,5	59,8	69,6	4,5
		normaali	16	64,9	58,6	76,3	4,2
		harva	4	59,1	55,9	61,7	2,4
	14,1 - 16,0	tiivis	1	62,9	62,9	62,9	-
		normaali	6	63,8	44,4	72,7	9,9
	16,1 - 18,0	normaali	2	71,8	71,7	71,9	0,2
		harva	1	65,8	65,8	65,8	-
18,1 +	tiivis	2	65,8	64,5	67,1	1,8	
	normaali	3	66,4	61,6	69,6	4,2	
MÄK, 5 m	-12,0	tiivis	5	64,1	46,5	72,3	10,6
		normaali	16	65,7	59,4	71,8	3,3
		harva	7	60,8	51,0	69,0	5,5
	12,1 - 14,0	tiivis	5	69,1	64,5	76,7	4,7
		normaali	30	68,2	63,5	76,4	3,1
		harva	7	65,7	60,9	72,8	3,8
	14,1 - 16,0	normaali	9	65,7	62,5	71,3	2,7
		harva	3	65,7	59,0	73,2	7,1
16,1 - 18,0	normaali	2	64,1	62,5	65,7	2,2	

Kuusikuitupuun tutkimusaineisto ositeluokittain. Kussakin ositeluokassa on nippujen lukumäärä ja kyseisen ositteen keskimääräinen kiintotilavuusprosentti, sen minimi- ja maksimiarvot sekä ositeluokan nippujen kiintotilavuusprosentin keskihajonta

Kuusikuitupuu

Puu-tavara-laji	Läpimitta-luokka, cm	Tiiviys	Nippuja, kpl	Ositeluokittaiset kiintotilavuus -%			
				Keski-arvo	Pienin	Suurin	Hajonta
KUK, 3 m	-12,0	tiivis	1	62,8	62,8	62,8	-
		normaali	2	62,4	61,5	63,3	1,3
		harva	1	62,7	62,7	62,7	-
	12,1 - 14,0	tiivis	9	67,0	59,6	74,6	4,1
		normaali	37	65,3	59,1	70,0	2,5
		harva	5	62,9	61,9	64,6	1,1
	14,1 - 16,0	tiivis	2	69,3	68,5	70,2	1,2
		normaali	5	64,6	60,4	70,8	4,1
		harva	2	70,4	64,0	76,9	9,1
	16,1 - 18,0	normaali	1	69,7	69,7	69,7	-
KUK, 5 m	-12,0 cm	tiivis	1	64,6	64,6	64,6	-
	12,1 - 14,0	tiivis	26	64,7	58,2	71,1	3,2
		normaali	71	63,2	52,2	72,8	3,4
		harva	6	61,1	58,5	64,7	2,5
	14,1 - 16,0	tiivis	3	66,4	63,2	68,2	2,8
		normaali	21	63,6	58,0	69,5	3,3
		harva	4	62,5	60,0	65,5	2,3
	16,1 - 18,0	tiivis	1	60,0	60,0	60,0	-
		normaali	1	63,9	63,9	63,9	-
	18,1 +	tiivis	6	65,8	64,4	69,3	1,9
normaali		3	71,0	69,9	71,7	1,0	

Haapakuitupuun tutkimusaineisto ositeluokittain. Kussakin ositeluokassa on nippujen lukumäärä ja kyseisen ositteen keskimääräinen kiintotilavuusprosentti, sen minimi- ja maksimiarvot sekä ositeluokan nippujen kiintotilavuusprosentin keskihajonta

Haapakuitupuu

Puu-tavara-laji	Läpimitta-luokka, cm	Tiiviys	Nippuja, kpl	Ositeluokittaiset kiintotilavuus -%			
				Keski-arvo	Pienin	Suurin	Hajonta
Haapa, 3 m	-12,0	tiivis	1	61,9	61,9	61,9	-
	12,1 - 14,0	tiivis	2	70,5	69,2	71,9	1,9
		normaali	2	58,3	51,5	65,1	9,6
	14,1 - 16,0	harva	1	59,1	59,1	59,1	-
		tiivis	5	66,2	62,2	70,2	3,0
	16,1 - 18,0	normaali	14	64,0	56,8	70,7	3,7
harva		4	62,2	58,9	67,4	3,8	
18,1 +	tiivis	4	68,7	63,7	73,6	4,1	
	normaali	5	67,5	59,5	73,5	5,1	
Haapa, 5 m	14,1 - 16,0	harva	1	72,1	72,1	72,1	-
		normaali	5	65,0	60,6	68,2	3,0
		harva	1	62,9	62,9	62,9	-
		tiivis	1	62,8	62,8	62,8	-
		normaali	1	62,4	62,4	62,4	-