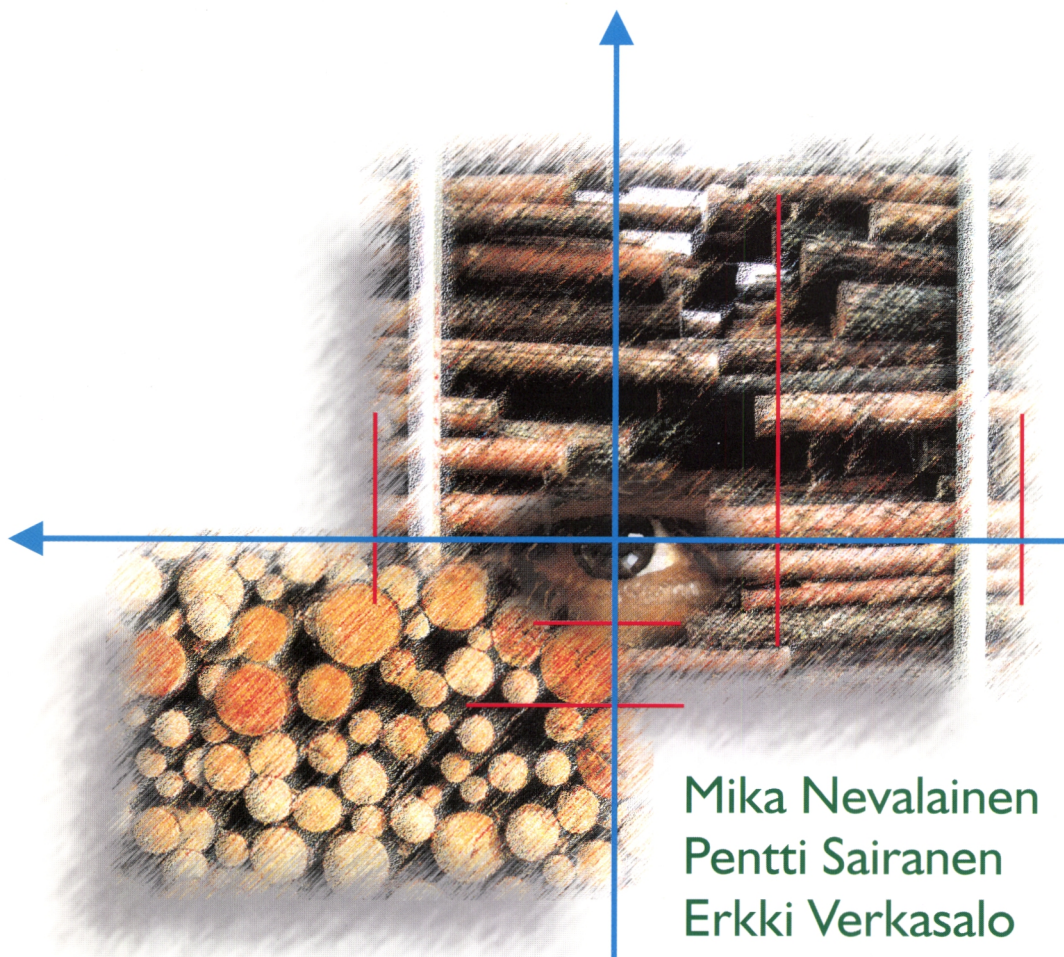


Pitkän kuitupuun ajoneuvokuormien pinomittauksen kehittäminen



Mika Nevalainen
Pentti Sairanen
Erkki Verkasalo

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN TIEDONANTOJA 653

**Pitkän kuitupuun ajoneuvokuormien
pinomittauksen kehittäminen**

**Mika Nevalainen
Pentti Sairanen
Erkki Verkasalo**

JOENSUUN TUTKIMUSASEMA

1997

Nevalainen, M., Sairanen, P. & Verkasalo, E. 1997. Pitkän kuitupuun ajoneuvo-kuormien pinomittauksen kehittäminen. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 653. 41 s. + liitteet 3 s. ISBN 951-40-1581-9, ISSN 0358-4283.

Tutkimuksen ensisijaisena tarkoituksena oli selvittää nykyisen pinomittausmenetelmän soveltuvuus 3,5-metristä pidemmän eli ns. pitkän kuitupuun ajoneuvo- ja junakuormissa tapahtuvaan eräkohtaiseen tilavuuden määrittämiseen. Keskeisiä kohtia olivat eräkohtainen mittaustarkkuus ja siihen vaikuttavat tekijät, silmävaraisen laadunmäärittämisen luotettavuus ja käytännön mittaustyön kehittämismahdollisuudet. Lisäksi selvitettiin käytössä olevien keskimääräisten kiintotilavuusprosenttien ja pinotiivistekijöiden oikeellisuus ajoneuvomittauksessa. Pinomittausmenetelmän yksinkertaistamiseksi laadittiin laskentamallit kiintotilavuuden määrittämiseksi suoraan kehystilavuudesta ilman kiintotilavuusprosentin määrittämistä.

Pitkän kuitupuun mittaus on jokseenkin yhtä tarkkaa ajoneuvo-kuormissa kuin tienvarsipinoissa, mutta mittauksessa ei saavuteta pinomittausohjeessa vaadittua ± 4 prosentin eräkohtaista tarkkuusvaatimusta. Samaan mittaustarkkuuteen päästäisiin nykyistä yksinkertaisemmalla menetelmällä, jossa määritettäviä pinotiivistekijöitä olisivat vain läpimitta- ja tiivysluokat.

Esitetyt tilavuusmallit ovat teoreettisia. Niitä ei voida suoraan soveltaa käytäntöön, sillä aineistossa ei ollut selvästi vajaanippuisia kuormia. Tutkimus osoitti kuitenkin kiistattoman korjaustarpeen kuitupuun pinomittausohjeen keskimääräisiin kiintotilavuusprosentteihin ajoneuvo-kuormien mittauksessa.

Käsillä oleva tutkimus on ollut pohjana jatkotutkimuksille, joissa on kehitetty AVM-100 kehyskuvamittauksen tilavuuden laskentayhtälöitä.

Avainsanat: puutavaranmittaus, tehdasmittaus, mittaustarkkuus, tiivys, kaukokuljetus, puutavaralajit, kuitupuu.

Kirjoittajien yhteystiedot: Mika Nevalainen, Tietopari Oy, Revontulentie 6, 02100 Espoo, puhelin (010) 469 4471, faksi (010) 469 4499; Pentti Sairanen, Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus, PL 18, 01301 Vantaa, puhelin (09) 857 05 337, faksi (09) 857 05 361; Erkki Verkasalo, Metsäntutkimuslaitos, Joensuun tutkimusasema, PL 68, 80101 Joensuu, puhelin (013) 251 4143, faksi (013) 251 4111.

Julkaisija: Metsäntutkimuslaitos. Hanke 3192-8. Hyväksynyt: tutkimusjohtaja Matti Kärkkäinen 19.09.1997.

Tilaukset: Metsäntutkimuslaitos, Joensuun tutkimusasema, PL 68 80101 Joensuu, puhelin (013) 251 4000, faksi (013) 251 4111.

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	5
1.1 Yleistä	5
1.2 Tutkimuksen tarkoitus	5
1.2.1 Esitutkimus	5
1.2.2 Varsinainen tutkimus	6
2 TUTKIMUSAINEISTO JA -MENETELMÄT	7
2.1 Aineiston hankinta	7
2.2 Tutkimusmenetelmät	8
2.2.1 Puutavaraniipusta kerätyt tiedot	8
2.2.2 Vastaanotto- ja tarkastusmittaus	9
2.2.3 Vastaanotto- ja tarkastusmittauksen virhelähteet	10
2.2.4 Aineiston laskenta ja analysointi	13
3 TULOKSET	14
3.1 Pinotiiviuden määrittystarkkuus	14
3.1.1 Pinotiiviyys ajoneuvokuormassa	14
3.1.1.1 Keskimääräinen pinotiiviyys	14
3.1.1.2 Keskiläpimitan ja sen hajonnan vaikutukset	16
3.1.1.3 Muiden pinotiiviystekijöiden vaikutukset	18
3.1.1.4 Keskipituuden ja sen hajonnan vaikutukset	18
3.1.2 Pivotiiviyys junakuormassa	20
3.2 Tilavuuden määrittystarkkuus	21
3.2.1 Kokonaistilavuus	21
3.2.2 Nipun tilavuus	21
3.2.2.1 Vastaanottomitattu kiintotilavuus	21
3.2.2.2 Todellinen kehystilavuus	22
3.2.2.3 Todellisen kehystilavuuden avulla laskettu kiintotilavuus	24
3.2.3 Erän tilavuus	25
3.2.3.1 Vastaanottomitattu kiintotilavuus	25
3.2.3.2 Todellisen kehystilavuuden avulla laskettu kiintotilavuus	26
3.3 Silmävarainen laadunmääritys	27
3.4 Pinomenetelmä ajoneuvokuormien mittauksessa	28
3.5 Nipun pinotiiviyys- ja tilavuusmallit	29
3.5.1 Pinotiiviuden vaihtelumallit	29
3.5.2 Kiintotilavuuden vaihtelumallit	30
3.5.2.1 Yleistä	30
3.5.2.2 Kuitupuun kiintomittausohjeen mukaiset mallit	31
3.5.2.3 Männyn tilavuusmalli	32
3.5.2.4 Kuusen tilavuusmalli	32
3.5.2.5 Koivun tilavuusmalli	33
3.5.3 Tilavuusmallien testaus	34
3.5.3.1 Kuitupuun kiintomittausohjeen mukaiset mallit	34
3.5.3.2 Puulajikohtaiset mallit	34
4 TULOSTEN TARKASTELU JA JOHTOPÄÄTÖKSET	35
4.1 Tulosten luotettavuus ja yleistettävyyys	35
4.2 Menetelmien vertailu	36
4.3 Päätelmiä	36
4.4 Jatkotutkimukset	39
KIRJALLISUUS	40
LIITTEET	

1 JOHDANTO

1.1 Yleistä

Pitkän kuitupuun pinomittausta on tutkittu aina 1950-luvun lopulta lähtien (mm. Makkonen 1958, Pertovaara 1960, 1964, Heiskanen ja Koivulehto 1964, Leinonen ja Rikkonen 1969, Heiskanen 1972, 1973a,b, Heiskanen ja Riikonen 1973, Nikkilä ym. 1974). Kuitenkin vasta kuitupuun hankintaketjuissa 1980-luvulla tapahtuneet muutokset toivat varsinaisesti esille tarpeen kehittää pitkän kuitupuun mittausta (Sairanen 1987, 1995). Kuitupuun teossa on pyritty siirtymään lyhyestä pitkään puutavaraan korjuukustannusten pienentämiseksi ja kuljetuskaluston käytön tehostamiseksi. Tosin kolmemetristä on taas viime vuosina alettu pitää varsin hyvänä kuitupuuna mm. kuorintatuloksen laadun ja puuhävikin kannalta, varsinkin lehtipuulla.

Kuitupuuta käytävissä yhtiöissä pitkän kuitupuun osuus oli vuonna 1985 vain 10...20 %, vuonna 1987 n. 50 % ja tällä hetkellä 55...75 % (Sairanen 1987, 1995). Tämä kertoo pitkän kuitupuun käytön lisäämistä kohtaan tunnetusta mielenkiinnosta. Kehitystä on kuitenkin hidastanut sopivien jälkimittausmenetelmien puuttuminen. Pitkälle kuitupuulle on laadittu (Sairanen 1989b, 1995) ja virallistettu (Kuitupuun pinomittaus 1997) ohjeet tienvarsipinojen mittausta varten, mutta toistaiseksi sellaisia ei ole ollut käytettävissä ajoneuvokuormien mittaukseen.

Vuosina 1992 ja 1993 tehtailla vastaanotetusta puutavarasta mitattiin 75 % otantaan perustuvilla menetelmillä ja 25 % totaaliseen mittaukseen perustuvilla menetelmillä (Oijala ja Terävä 1994). Otantaan perustuvista menetelmistä yleisimmän paino-otannan osuus oli 42 %, kehysotannan 21 % ja nippulukuotannan 12 %. Totaaliseen mittaukseen perustuvista menetelmistä yleisin oli kehysmittaus, jonka osuus oli 16 %. Tärkeimpiä keinoja puutavaran vastaanottokustannusten minimoinnissa ovat rinnakkaisten purkumenetelmien välttäminen, totaalimittauksen menetelmien ja otantanippujen mittauksen kehittäminen, sekä puutavaran vastaanoton mitoittaminen muuttuneita puumääriä ja kuljetusmuotoja vastaavaksi.

1.2 Tutkimuksen tarkoitus

1.2.1 Esitutkimus

Käsillä olevassa työssä tutkitaan pitkän kuitupuun pinomittauksen perusteita ja menetelmiä ajoneuvokuormassa toteutettuna eräkohtaiseen mittaukseen keskittyen. Pinomittaus on käytössä työmittana ja osin myös luovutusmittana useimmilla tehtailla. Pitkällä kuitupuulla tarkoitetaan vapaa-, liki- tai määräpituiseksi katkottua puutavaraa, jonka nimellispituus on yli 3,5 m.

Ennen varsinaista tutkimusta ja sen tavoitteiden asetantaa järjestettiin esitutkimus, jonka tarkoituksena oli selvittää sekä lyhyen että pitkän kuitupuun mittaustarkkuutta ja siihen vaikuttavia tekijöitä Metsä-Botnia Oy:n Kaskisen tehtaalla. Lisäksi pyrittiin määrittämään varsinaisessa tutkimuksessa tarvittavan aineiston ositteet ja laajuus.

Esitutkimuksessa analysoitiin ajoneuvokuormassa mitattuja kuitupuutavaran vastaanotto- ja otantamittaustuloksia ajalta 1.11.1992...31.12.1993. Vastaanottomittaus

oli tehty kuitupuun kiintomittausohjeen (1981) mukaisesti. Aineisto käsitti 173 nippua (n. 1600 m³) lyhyttä eli korkeintaan 3,5-metristä puutavaraa ja 39 nippua (n. 550 m³) pitkää eli yli 3,5-metristä puutavaraa.

Lyhyen puutavaran mittaus oli esitutkimuksessa pitkän puutavaran mittausta tarkempaa. Lyhyen puutavaran kokonaistilavuutta yliarvioitiin merkityksettömän vähän ja nippukohtaista tilavuutta keskimäärin 0,5 %. Nippukohtainen tilavuusvirhe vaihteli kuitenkin paljon, -19,6...+26,5 %, ja myös virheen keskihajonta oli suuri, 7,3 %. Pitkän puutavaran kokonaistilavuuden yliarvio oli sen sijaan huomattava, 3,6 %. Nippukohtaista tilavuutta yliarvioitiin keskimäärin 4,1 %. Tilavuusvirhe vaihteli tässäkin paljon, -6,1...+32,5 %, ja virheen keskihajonta oli 7,7 %. Pitkän puutavaran lyhyttä puutavaraa huonompi mittaustarkkuus ja sen kasvava käyttö huomioon ottaen varsinaisessa tutkimuksessa katsottiin perustelluksi keskittyä pitkän puutavaran mittaukseen.

Pitkän puutavaran mittauksessa nipun pituutta yliarvioitiin systemaattisesti keskimäärin 7,5 %. Lehtipuutavaran tilavuus mitattiin havupuutavaraa tarkemmin. Lisäksi havaittiin epätarkkuutta nipun pinotiiivystekijöiden sekä kiintotilavuusprosentin määrittämisessä. Tarkastusmittauksen perusteella laskettujen todellisten pinotiiivystekijöiden hajonta oli suurempi kuin vastaanottomittauksessa määritettyjen pinotiiivystekijöiden hajonta. Tämä viittasi siihen, että vastaanottomittaukset olivat määrittäneet pinotiiivystekijät herkästi keskimääräisiksi tai luokkien korjaava vaikutus ei ollut riittävä. Esitutkimusaineiston vähäisyyden takia näitä tuloksia voitiin pitää vain suuntaa antavina.

1.2.2 Varsinainen tutkimus

Varsinaisen tutkimuksen tavoitteena oli selvittää nykyisen pinomittausmenetelmän (Kuitupuun kiintomittaus 1981) soveltuvuutta 3,5-metristä pidemmän puutavaran eli ns. pitkän kuitupuun ajoneuvokuormassa ja mahdollisuuksien mukaan myös junakuormassa tapahtuvaan eräkohtaiseen mittaukseen. Eräkohtaisella mittauksella tarkoitettiin yksittäisen puukauppaerän tilavuuden määrittäystä puutavaralajeittain. Tässä tutkimuksessa erä oli 1...4 ajoneuvokuormanippua yhteistilavuudeltaan n. 10...50 m³. Tämä vastasi kooltaan pientä puukauppaa (esim. Voipio ja Korpilahti 1988, Sairanen 1995).

Eräkohtainen mittaustarkkuus ja siihen vaikuttavat tekijät selvitettiin eri mittausolosuhteissa. Mittaustarkkuudella tarkoitettiin yhtäältä tilavuuden ja toisaalta pinotiiivystekijöiden määrittämisen tarkkuutta. Lisäksi tutkittiin silmävaraisen laadunmäärittämisen luotettavuutta. Myös käytännön mittaustyön kehittämismahdollisuuksia selvitettiin. Käytettyjen keskimääräisten kiintotilavuusprosenttien sekä pinotiiivystekijöiden oikeellisuus pyrittiin selvittämään ja tarvittaessa tekemään korjausehdotus. Mahdollisten systemaattisten virheiden lähteitä haettiin ja niiden vaikutusta pyrittiin eliminoimaan tai ainakin vähentämään tavoitteena kokonaistilavuuden mittaustarkkuuden parantaminen. Menetelmän yksinkertaistamiseksi oli tavoitteena kehittää laskentamalli kiintotilavuuden määrittämiseksi kehystilavuudesta suoraan ilman välivaiheena tapahtuvaa kiintotilavuusprosentin määrittämistä.

Tämä julkaisu on laadittu kirjoittajien yhteistyönä MMM Mika Nevalaisen (1995a) Helsingin yliopiston metsävarojen käytön laitokselle laatiman pro gradu -tutkielman pohjalta. Tämä tehtiin Metsäntutkimuslaitoksessa Osuuskunta Metsäliiton aloitteesta. Rahoitus saatiin pääosin Osuuskunta Metsäliitosta ja osaksi Opetusministeriön Helsingin yliopistolle korkeakoulututkinnon suorittaneiden työelämään sijoittumisen edistämiseen varaamasta määrärahasta. Työn ohjaajina olivat kehittämisspäällikkö Kalevi Mikkonen Osuuskunta Metsäliitosta, professori Esko Mikkonen Helsingin yliopistosta ja vanhemmat tutkijat Pentti Sairanen ja Erkki Verkasalo Metsäntutkimuslaitoksesta. Tutkimusaineiston keruun yhteyshenkilöinä olivat Pertti Kallio-Kujala Metsä-Botnia Oy:n Kaskisen ja Sauli Vilmi Kemin tehtailta, Pekka Korander Metsä-Serla Oy:n Kirkniemen tehtaalta, Kauko Mynttinen Kymmene Oy:n (nyk. osana UPM-Kymmene Oy:tä) Kuusanniemen tehtaalta ja Pekka Purasmaa Yhtyneet Paperitehtaat Oy:n Simpeleen tehtaalta (nyk. osana Metsä-Serla Oy:tä). Tutkimusaineiston laskennassa avusti suunnittelija Hannu Aaltio ja julkaisun viimeistelyssä toimistos sihteeri Päivi Mäkkeli, molemmat Metsäntutkimuslaitoksesta. - Esitämme parhaat kiitoksemme kaikille tutkimuksen valmistumiseen myötävaikuttaneille henkilöille ja organisaatioille.

2 TUTKIMUSAINIESTO JA -MENETELMÄT

2.1 Aineiston hankinta

Tutkimusaineisto kerättiin valituilta tehtailta, joilla normaali puutavaran vastaanottomittaus oli ajoneuvokuorman kehysmittaukseen perustuvaa määrän ja laadun mittausta ja tarkastusmitattujen nippujen kiintotilavuus selvitettiin pölkyttäisin mittauksin. Tutkimuksesta kiinnostuneita sekä vaatimukset täyttäneitä tehtaita olivat Metsä-Botnia Oy Kaskinen ja Kemi, Metsä-Serla Oy Kirkniemi, Kymmene Oy (nyk. osana UPM-Kymmene Oy:tä) Kuusanniemi sekä Yhtyneet Paperitehtaat Oy Simpele (nyk. osana Metsä-Serla Oy:tä). Aineisto kerättiin 16.3...31.7 1994.

Aineistoa oli tarkoitus kerätä 500 nippua. Määrä jäi huomattavasti suunniteltua pienemmäksi pitkän kuitupuun aineiston keruun aikana vähäisen tehdasmittauksen ja Kuusanniemen aineiston puutteellisuuden takia. Aineistoa kertyi yhteensä 270 autopuunippua (4114 m³) ja 37 junapuunippua (619 m³), joiden yhteistilavuudesta oli mäntyä 55 %, kuusta 27 % ja lehtipuuta 18 %. Aineiston kokonaistilavuudesta oli Kaskisesta 49 % (158 nippua), Kemistä 22 % (61 nippua), Kuusanniemestä 16 % (47 nippua), Kirkniemestä 7 % (24 nippua) ja Simpeleestä 6 % (17 nippua). Aineisto koostui Kaskisessa, Kemissä ja Kirkniemellä otannalla valituista tarkastusmittausnipuista ja Kuusanniemessä sekä Simpeleessä lisätyönä mitatuista nipuista.

Aineiston keruun aloittamisessa maaliskuussa ilmenneiden ongelmien ja tarkastusmittauksen otantaprosentin pienuuden takia lumisen puutavaran osuus oli pieni, vain 264 m³ eli 6 % koko aineistosta. Täten lumen ja jään vaikutusta mittaustarkkuuteen ei tutkittu tässä yhteydessä. Niiden vaikutukset otettiin kuitenkin huomioon kiintotilavuuden vaihtelua selittävässä malleissa vastaanottomittaajien tekemän silmävaraisen lumisuusluokituksen perusteella (liite 1). Aineiston keruussa ilmenneiden väärinkäsitysten ja puutteiden takia Kuusanniemen tietoja käytettiin ainoastaan silmävaraisen laadunmäärityksen tarkkuuden tutkimisessa.

Tulosten laskennassa käytetty aineisto, yhteensä 260 nippua, koostui vastaanottomittauksessa kehysmitatuista sekä pölkyttäin tarkastusmitatuista nipuista. Puutavaranippujen tehdas- ja puulajikohtainen jakauma on taulukossa 1. Koko tutkimusaineistoa koskevia keskiarvoja on taulukossa 2.

2.2 Tutkimusmenetelmät

2.2.1 Puutavaranipuista kerätyt tiedot

Tutkimusaineiston keruussa hyödynnettiin tehtaiden normaaleja mittausrutiineja ja tehtiin tarpeen mukaan lisämäärytyksiä. Näitä olivat luokittelut lumisuuden, tiivyyden ja kuitupuulajin (runko- ja latvakuitu sekä tukit) mukaan.

Taulukko 1. Tulosten laskennassa käytetyn aineiston jakauma tehtaittain ja puulajeittain.

Tehtas	Mänty	Kuusi	Puulaji		Yhteensä
			Koivu	Haapa	
			Nippuja, kpl		
Kaskinen	81	40	32	5	158
Kemi	60	...	1	...	61
Kirkniemi	3	21	...	...	24
Simpele		17	...	...	17
Yhteensä	144	78	33	5	260

Taulukko 2. Metsä-Botnia Oy:n, Metsä-Serla Oy:n ja Kymmene Oy:n aineiston keskimääräisiä tunnuslukuja. KP = kiintotilavuusprosentti.

	Mänty		Puulaji Kuusi		Koivu	
	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s
Vastaanottomittaus:						
Nipun keskipituus, cm	436,6	25,2	448,3	20,0	427,6	20,6
Kehystilavuus, m ³	26,0	3,3	24,3	3,6	24,2	3,6
Järeyden vaikutus KP:iin, %-yksikköä	0,8	1,5	1,5	2,1	1,1	2,3
Ladonnan ---, %-yksikköä	0,4	1,1	0,7	1,1	0,1	0,6
Karsinnan ja oksaisuuden ---, %-yksikköä	0,3	1,0	0,9	1,0	0,1	0,6
Mutkaisuuden ---, %-yksikköä	0,4	0,6	0,3	0,5	0,0	0,9
Kiintotilavuusprosentti	61,9	3,0	64,1	2,5	53,2	3,2
Kiintotilavuus, m ³	16,1	1,9	15,6	2,4	12,9	2,1
Hylkypuutavaran tilavuus, m ³	0,04	0,12	0,10	0,29	0,06	0,15
Tarkastusmittaus:						
Nipun aritmeettinen keskipituus, cm	410,2	23,0	420,2	23,7	407,6	29,5
Nipun sisäinen pituuden hajonta, cm	33,8	14,4	39,2	28,1	35,5	8,0
Keskiläpimitta, cm	12,3	3,4	12,8	3,2	12,0	2,3
Nipun sisäinen läpimitan hajonta, cm	3,2	1,2	3,2	0,8	3,4	1,3
Kiintotilavuus, m ³	15,9	2,0	15,6	2,5	13,0	2,5
Hylkypuutavaran tilavuus, m ³	0,19	0,24	0,38	0,48	0,24	0,42

Puutavaranipuista kerättiin seuraavat tiedot:

1. Nipun tunnistetiedot: tehtaan numero, vastaanottotodistuksen numero, nipun numero, vastaanotto- ja tarkastusmittauspäivämäärä, puutavaralaji, pituusluokka, ajoneuvon rekisterinumero, varastokunta ja vastaanottomittaja.

2. Puutavaran vastaanotossa kirjatut tiedot: nipun pituus, korkeus ja leveys, kehystilavuus, kuitupuun kiintomittausohjeen (1981) mukaiset pinotiiviystekijät (järeys, ladonta, karsinta, mutkaisuus), kiintotilavuusprosentti, vastaanotetun puutavaran kiintotilavuus, vastaanotossa vajaalaatuiseksi arvioidun puutavaran tilavuus sekä vajaalaatuisuuden syy.

3. Tarkastusmittaustulokset: aritmeettinen ja tilavuudella painotettu keskipituus, pituuden keskihajonta, aritmeettinen keskiläpimita, läpimitan keskihajonta, pölkkytässä mittauksessa saatu tilavuus, ylimääräisen puulajin mutta muuten laatuvaatimukset täyttäneen puutavaran tilavuus, vajaalaatuisten puutavaran tilavuus ja vajaalaatuisuuden syy (alamittaisuus, laho, tekninen vika, muu vika, väärä puulaji) sekä lumisuus-, tiiviys- ja kuitupuulajiluokka (liitteet 1 ja 2).

Eri tehtaiden puutavaran vastaanoton erilaisista rutiineista ja järjestelyistä johtuen aineistot eivät olleet täysin yhteneväisiä nipuista kerättyjen tietojen osalta. Kaikki tarvittavat tiedot voitiin kerätä ainoastaan Kaskisessa. Muiden tehtaiden nippukohtaisista tiedoista puuttuivat kokonaan tai osittain seuraavat:

Kemi: - nipun korkeus ja leveys
 - pinotiiviystekijät
 - vastaanotossa hylätyn puutavaran hylkäyssyy
 - läpimitan ja pituuden keskihajonta

Kirkniemi: - pölkyn tilavuudella painotettu keskipituus
 - läpimitan ja pituuden keskihajonta

Kuusanniemi: - varastokunta
 - pinotiiviystekijät, kiintotilavuusprosentti ja vastaanotettu tilavuus
 - vastaanotossa vajaalaatuiseksi arvioidun puutavaran tilavuus ja vajaalaatuisuuden syy
 - pölkyn tilavuudella painotettu keskipituus
 - läpimitan ja pituuden keskihajonta

Simpele: - vastaanotossa vajaalaatuiseksi arvioidun puutavaran tilavuus ja vajaalaatuisuuden syy
 - lumisuus-, tiiviys- ja kuitupuulajiluokka
 - pölkyn tilavuudella painotettu keskipituus

2.2.2 Vastaanotto- ja tarkastusmittaus

Puutavara mitattiin nipuittain ajoneuvossa sen saapuessa tehtaalle. Mittaus tehtiin tutkimusaikana voimassaolleen kuitupuun kiintomittausohjeen (1981) mukaisesti. Jokaisesta puutavaranipusta määritettiin keskimääräinen pituus, korkeus ja leveys, ja niiden perusteella kehystilavuus. Nipun keskipituus määritettiin silmävaraisesti pölkkyjen järeydellä painotettuna pituuden keskiarvona, korkeus nipun päältä

tasoitettuna korkeutena ja leveys kuormatilan pankkojen välisenä etäisyytenä. Korkeutta mitattaessa selvä lumi- ja jääkerros sekä vieraat esineet vähennettiin korkeudesta ja leveyttä mitattaessa otettiin huomioon pankkojen kallistuma.

Tämän jälkeen määritettiin nipuittain pinotiivistekijöiden luokat (järeys, ladonta, karsinta ja mutkaisuus). Näiden sekä keskimääräisen kiintotilavuusprosentin ja nipun keskipituuden perusteella määritettiin nipun kiintotilavuusprosentti. Nipun kiintotilavuus saatiin kertomalla kehystilavuus kiintotilavuusprosentilla. Lisäksi nipusta pyrittiin selvittämään vajaalaatuisen puutavaran osuus silmävaraisesti sekä vajaalaatuisuuden pääsiallinen syy. Nippujen tiedot yhdistämällä saatiin vastaanotetun ajoneuvokuorman eli yhden erän tiedot.

Vastaanotetun puutavaran perusmittaustulos tarkastettiin yksinkertaisella satunnaisotannalla. Otantaprocentti vaihteli tehdaskohtaisesti 1,5...17 %. Se riippui toimittajakohtaisista puutavaramääristä, puutavaran pituusluokasta, puulajista, kiintotilavuusprosenttien keskihajonnasta sekä aikaisemmin havaituista tilavuuden ja laadun mittausvirheistä. Kaskisessa ja Kirkniemessä otettiin aineiston keruuaikana normaalin otannan lisäksi ylimääräisiä ajoneuvokuormia tarkastusmittaukseen, joten otantaprocentti oli näin suurempi kuin tehtailla normaalisti. Kemissä, Simpeleessä ja Kuusanniemessä mittaukset tehtiin kokonaan lisätyönä.

Tarkastettava nippu levitettiin pölkyttäistä mittausta varten tasaiselle alustalle siten, että jokainen pölky oli mitattavissa erikseen. Pölkyt mitattiin elektronisilla mittasaksilla (Sunit- tai Pomot- mittausjärjestelmä). Joka pölkyt pitempään puolivälillä mitattiin läpimitta kuoren päältä vaakasuorassa suunnassa 1 mm:n tarkkuudella. Pölkyt pitempään mitattiin yleensä 10 cm:n mutta Kirkniemessä 30 cm:n tasaavaa luokitusta käyttäen.

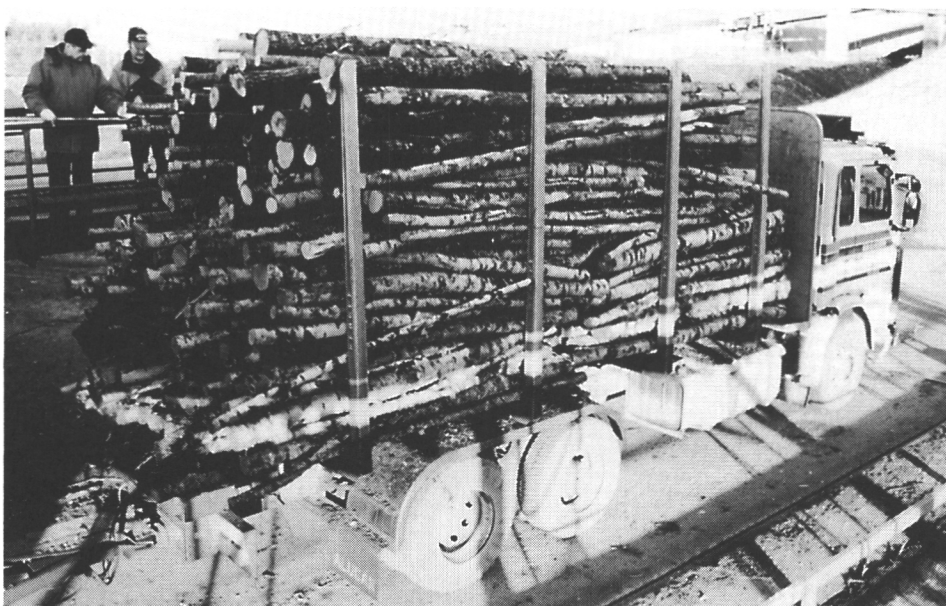
Mittaustiedot syötettiin mittasaksien muistiin ja laskentaohjelma laskee pölkyt keskussylinteritilavuuden keskusläpimitan ja pitempään perusteella. Tulokset tallentuivat mittasaksien muistiin puulajeittain eri rekistereihin ja vajaalaatuisten pölkyt tulokset erillisiin raakkirekistereihin hylkääsyyn perusteella. Laskentaohjelma korjasi lopuksi nipun kiintotilavuutta pölkyt keskipitempään riippuvalla keskusmuotoluvulla, mikäli nipussa oli tyvipölkyt yli 15 %. Tyvipölkyt määrä arvioitiin silmävaraisesti. Korjauskertoimet olivat seuraavat (Puutavarapölkyt mittaus 1992):

Keskipitempään, m	1,6...2,5	2,6...3,5	3,6...4,5	4,6+
Korjaus, %	+1,8	+2,4	+3,0	+3,6

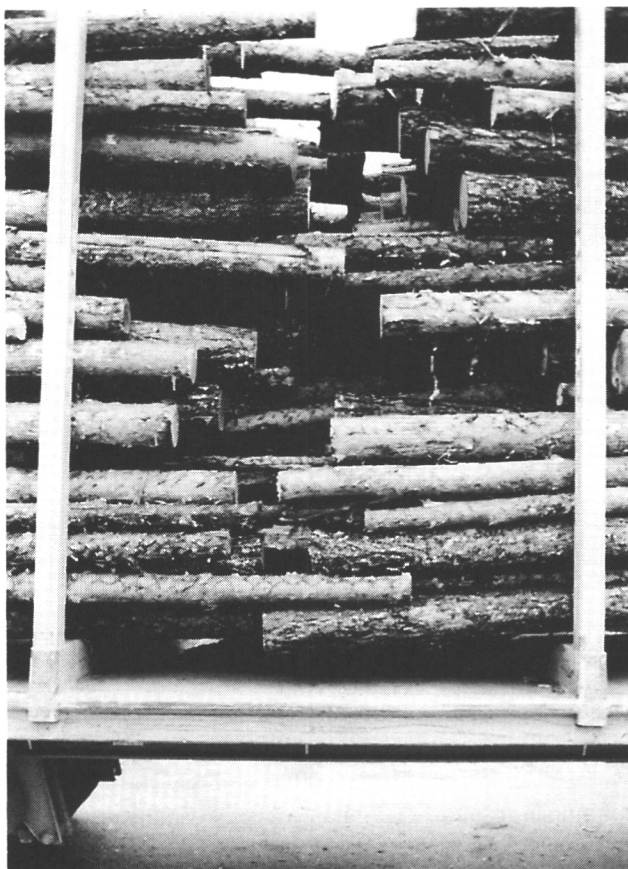
Pölkyttäisen mittauksen tulokset siirrettiin mittasaksilta yhtiöiden omiin tiedonkäsittelyjärjestelmiin.

2.2.3 Vastaanotto- ja tarkastusmittauksen virhelähteet

Kehystilavuutta mitattaessa suurin virhelähde on puutavaran *keskipitempään* määrittäminen. Nipun päät joudutaan tasaamaan silmävaraisesti, kun pyritään läpimitalla painotettuun keskipitempään. Yhdessä kuormassa saattaa lisäksi olla useita puutavaralajeja (kuva 1). Pisimmät pölkyt kuormataan normaalisti kuljetusteknisistä syistä nipun reunoille ja peräkkäiset niput ovat kuormassa kiinni toisissaan ja usein jopa limittäin (kuva 2), jolloin nipun sisällä olevien pölkyt pitempään ja läpimitan arvioiminen on vaikeaa.



Kuva 1. Haapa-koivusekanippu ajoneuvokuormassa. Alimpana kolmemetristä koivukuitupuuta, seuraavana pitkää koivukuitupuuta ja päällimmäisenä pitkää haapakuitupuuta (kuva: M. Nevalainen).



Kuva 2. Kaksi mäntykuitupuunippua limittäin ajoneuvon perävaunussa (kuva: M. Nevalainen).

Nipun korkeuden mittausta voidaan pitää varsin tarkkana, mikäli puutavaran vastaanotto paikalla on kuormien mittausteline, jonka päältä nähdään nipun yläreuna kokonaan. Alareunan osoittavat ajoneuvon kuormatilan aluspankot. Lumi- ja jääkerroksen oikea vähentäminen korkeudesta voi kuitenkin tuottaa vaikeuksia. *Nipun leveyden* mittaamista voidaan pitää myös tarkkana, sillä ajoneuvon sivupankkojen välinen etäisyys tunnetaan. Tähän leveyteen tehdään tarvittaessa pankkojen kallistuman aiheuttaman virheen korjaus. Nipun korkeuden ja leveyden mittaamisessa mahdollisesti syntyneitä virheitä ei otettu huomioon.

Kuitupuupinon tiivyyttä kuvaava kiintotilavuusprosentti määritetään pinojen keskimääräisen kiintotilavuusprosentin ja sitä tarkentavien pinotiivystekijöiden avulla tehtävien korjausten perusteella. Pinotiivyyden määrityksen pitäisi olla kehystilavuuden määrityksestä riippumatonta, kuten myös yksittäisen pinotiivystekijän arvioinnin pitäisi olla muiden pinotiivystekijöiden arvioinnista riippumatonta. Käytännössä näin ei kuitenkaan aina ole, vaan lopputulos saattaa olla eräänlainen eri tekijöiden kompensatio. Mittaaja määrittää esim. kehystilavuuden ohjeiden mukaan mutta pinotiivystekijät siten, että lopputulos olisi mahdollisimman lähellä mittaajan etukäteen silmävaraisesti arvioimaa kiintotilavuutta. Tässä tutkimuksessa pinotiivystekijöiden määrittämisen tarkkuutta ei selvitetty läpimittaluokkaa lukuunottamatta.

Inhimillisistä tekijöistä johtuneita virheitä oli mahdollisesti laskutoimituksissa, tietojen kirjaamisissa ja tallentamisissa. Tällaisten virheiden olemassaoloon viittasi se, että kehystilavuus ja kiintotilavuusprosentti eivät aineistossa aina olleet niihin johtaneiden tekijöiden mukaisia.

Pinotiivystekijöistä *läpimittaluokka* on mitattavissa itse tunnuksen osalta, mutta keskimääräisen läpimitan määrittäminen vaatii subjektiivista arviointia. Karsinta- ja oksaisuusluokka, mutkaisuusluokka ja ladontaluokka määritetään ainoastaan subjektiivisin perustein. Yksittäisen nipun pinotiivystekijöiden ja kiintotilavuusprosentin arviointia vaikeuttaa peräkkäisten nippujen limittäisyys ajoneuvokuormassa.

Käytössä olevat kuitupuupinojen *keskimääräiset kiintotilavuusprosentit* ajoneuvokuormassa on laskettu tienvarteen käsin tai koneellisesti pinotun lyhyen puutavaran pinotiivyyksien perusteella. Pitkän kuitupuun keskimääräiset kiintotilavuusprosentit on ekstrapoloitu lyhyen kuitupuun kiintotilavuusprosentteista. Voidaan olettaa, että ajoneuvokuormanippujen keskimääräiset kiintotilavuusprosentit eivät vastaa käytössä olevia tienvarsipinojen prosentteja. Nykyisin hallitseva koneellinen hakkuu kuluttaa puun kuorta enemmän kuin miestyönä tehty hakkuu, jolloin pinot saattavat olla aikaisempaa tiiviimpiä (Sairanen 1987, 1995). Tiiviyys kasvaa myös auto- ja junakuljetuksen aikana (Heiskanen ja Riikonen 1973, Sairanen 1984). Toisaalta puutavara on ajoneuvokuormassa aina koneellisesti ladottua ja nykyisin lisäksi pitempää kuin 1970-luvulla, mitkä tekijät ovat saattaneet alentaa keskimääräisiä kiintotilavuusprosentteja (Sairanen 1987, 1995).

Tarkastusmittausta elektronisilla mittasaksilla voidaan pitää luotettavana mittasaksien toiminnan osalta. Läpimitan mittaustarkkuus on 1 mm. Kuitupuupölkkyjen pituus mitataan 10 cm:n tasaavaa luokitusta käyttäen, mutta pituus voidaan haluttaessa mitata 1 cm:n tarkkuudella. Vaikka tarkastettavien pölkkyjen kappalemäärä on suuri,

mutkaisuus tavallista ja leikkauspinnat vinoja ja pituuden mittauksessa tapahtuu virheitä, voitaneen sekä osuvuutta 10 cm:n pituusluokkiin että tilavuuden määrittystä tällä luokituksella pitää riittävän tarkkana tämän tutkimuksen tarpeisiin. Kirkniemessä pituus kirjattiin 30 cm:n luokiin, jolloin osuvuus oli luonnollisesti hyvä mutta tilavuuden määrittys ei toisaalta voinut olla erityisen tarkkaa. Kärkkäisen (1978) mukaan pölkkyjen pituudet tulisi mitata kappaleittaisessa tilavuusmittauksessa 5 cm:n luokitusta käyttäen.

Tarkastusmitatun puutavaran tilavuuden oikeellisuus riippuu mittalaitteen laskentaohjelmasta. Käytetyt ohjelmat oli laadittu kuitupuun kiintomittausohjeeseen (1981) perustuen. Nipun keskipituus laskettiin pölkkyjen aritmeettisena keskiarvona jakamalla pölkkyjen 10 cm:n tasaavalla luokituksella määritettyjen pituuksien summa niiden kappalemäärällä. Nipun kiintotilavuusprosentti laskettiin kertomalla tarkastusmittauksen kiintotilavuuden ja vastaanottomittauksen kehystilavuuden osamäärä sadalla. Kiintotilavuutta oikaistiin aritmeettiseen keskipituuteen perustuvalla korjauskertoimella, mikäli tyvipölkkyjen osuus oli yli 15 % (Puutavarapölkkyjen mittaus 1992).

Kiintotilavuusprosentin määrittämisessä ei otettu huomioon tehdasvastaanotossa kehystilavuuden mittauksessa syntyneitä virheitä. Täten vastaanoton kiintotilavuusprosenttia ei voida pitää todellisena vaan lähinnä laskennallisena ajoneuvokuormassa olevien nippujen tiiviuden kuvaajana.

2.2.4 Aineiston laskenta ja analysointi

Vastaanotto- ja tarkastusmittaustiedot tallennettiin Metsä-Botnia Oy:ssä ja Metsä-Serla Oy:ssä tehtaiden keskuskoneille. Tutkimusaineiston tiedot poimittiin keskuskoneilta Tietopari Oy:n tiedonkeruuohjelmalla ja niitä tarkistettiin ja täydennettiin tarvittaessa käsin. Kymmene Oy:stä ja Yhtyneet Paperitehtaat Oy:stä tiedot saatiin atk-tulosteina.

Aineiston lopullinen muokkaus sekä tutkimusaineistoa, tutkittuja tekijöitä ja mittausvirheitä kuvaavat tunnusluvut (keskiarvot, keskihajonnat, variaatiokertoimet ja vaihteluvälit) laskettiin Microsoft Excel 4.0 -taulukkolaskentaohjelmalla ja lineaariset regressioanalyysit ja -mallit laadittiin ja testattiin Systat 5.01-ohjelmistopakettin analyysiohjelmilla.

Kokonaistilavuuden ja yksittäisen nipun tilavuuden mittaustarkkuutta tutkittiin Kaskisen, Kemin, Kirkniemen ja Simpeleen tehtaiden aineistoista. Kehystilavuuden sekä eräkohtaisen tilavuuden mittaustarkkuutta ja keskimääräistä pinotiiviyyttä sekä ajoneuvo- että junakuormissa tutkittiin Kaskisen ja Kemin aineistoista. Pinotiiviystekijöiden ja keskipituuden sekä keskiläpimitan ja -pituuden hajontojen vaikutusta pinotiiviyteen tutkittiin Kaskisen aineistosta. Silmävaraisen laadunmäärittäksen luotettavuutta tutkittiin Kaskisen, Kemin, Kirkniemen ja Kuusanniemen aineistoista. Kuitupuun kiintomittausohjeen (1981) korjausehdotus ajoneuvokuormien mittauksessa laadittiin Kaskisen aineiston perusteella. Kuitupuunipun pinotiiviuden ja kiintotilavuuden vaihtelumallit laadittiin ja testattiin Kaskisen ja Kemin aineistojen perusteella.

3 TULOKSET

3.1 Pinotiivyyden määritystarkkuus

3.1.1 Pinotiivys ajoneuvokuormassa

3.1.1.1 Keskimääräinen pinotiivys

Keskimääräistä pinotiivyyttä tutkittiin Kaskisen ja Kemin aineistoista. Vastaanottomittauksessa määritetyt nipun keskimääräiset kiintotilavuusprosentit olivat puulajeittain seuraavat:

Puulaji	Kiintotilavuusprosentti	
	\bar{x}	s
Mänty	62,0	3,1
Kuusi	62,9	1,8
Koivu	52,5	2,6
Haapa	57,4	3,5

Tilavuudella painotetun keskipituuden mukaiseen kehystilavuuteen ja tarkastusmittauksen mukaiseen kiintotilavuuteen perustuvat kiintotilavuusprosentit olivat vastaavasti seuraavat:

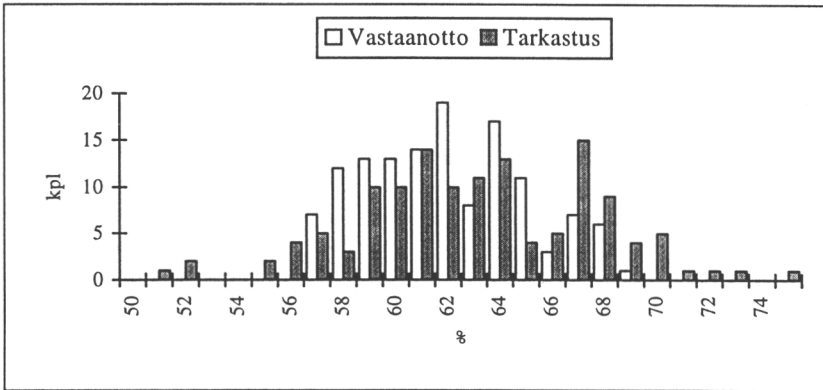
Puulaji	Kiintotilavuusprosentti	
	\bar{x}	s
Mänty	63,6	4,6
Kuusi	65,2	4,3
Koivu	51,8	4,1
Haapa	63,7	3,0

Kuvissa 3...5 on esitetty nippujen kiintotilavuusprosentin mukaiset jakaumat puulajeittain sekä vastaanotto- että tarkastusmittauksen perusteella.

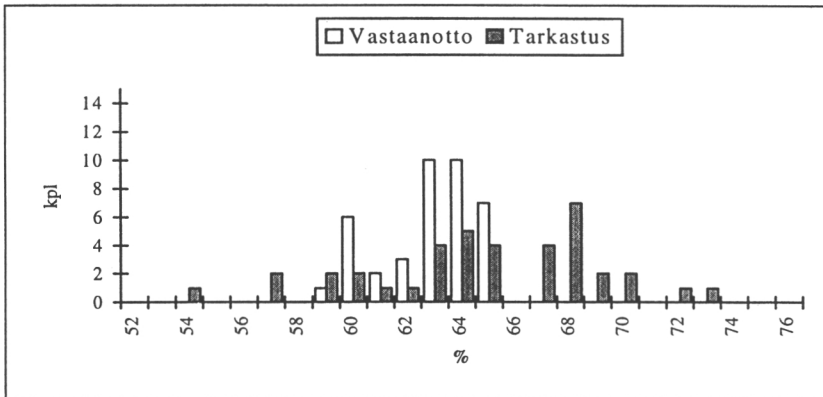
Vastaanotossa arvioidut kiintotilavuusprosentit korreloivat todellisten kiintotilavuusprosenttien kanssa seuraavasti:

Puulaji	r	P_{hav}
Mänty	+0,398	0,000
Kuusi	+0,676	0,000
Koivu	+0,566	0,001
Haapa	+0,186	0,765

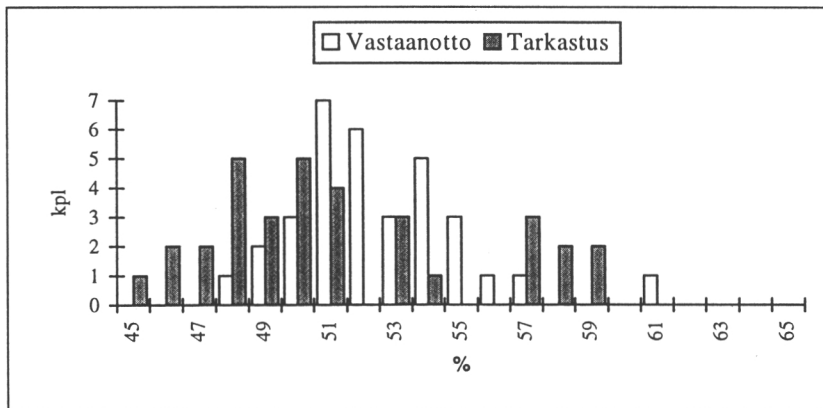
Kuusen ja koivun vastaanottomittauksessa määritetyt kiintotilavuusprosentit korreloivat puulajeista parhaiten todellisten kiintotilavuusprosenttien kanssa, männyllä vastaava korrelaatio oli selvästi huonompi. Haavan vastaanottomittauksessa määritetyt kiintotilavuusprosentit eivät korreloineet lainkaan todellisten kiintotilavuusprosenttien



Kuva 3. Männyen kiintotilavuusprosentin frekvenssijakauma



Kuva 4. Kuusen kiintotilavuusprosentin frekvenssijakauma



Kuva 5. Koivun kiintotilavuusprosentin frekvenssijakauma

kanssa, koska haavan kiintotilavuusprosentti määritetään kuten koivulla, vaikka haapa näyttäisi olevan mittausominaisuuksiltaan lähempänä mäntyä tai kuusta kuin koivua.

Keskimääräiset nipun tilavuudella painotetut kiintotilavuusprosentit olivat puulajeittain seuraavat:

Puulaji	Kiintotilavuusprosentti	
	Vastaanottomittaus	Tarkastusmittaus
Mänty	62,0	63,8
Kuusi	62,9	65,5
Koivu	52,7	52,0
Haapa	57,6	63,9

Täten kiintotilavuusprosentit oli määritetty vastaanottomittauksessa koivua lukuunottamatta keskimäärin liian pieniksi. Sairasen (1995) tutkimuksessa tilavuudella painotetut kiintotilavuusprosentit olivat tienvarsivarastojen pinoissa selvästi pienempiä kuin tässä tutkimuksessa ajoneuvokuormissa: keskimääräinen kiintotilavuusprosentti oli varastopinoissa männyllä 58 %, kuusella 59 %, kaikella havupuulla keskimäärin 59 % ja koivulla 47 %. Luvussa 2.2.3 esitetyistä syistä johtuen pinotiiviys on ajoneuvokuormissa säännöllisesti suurempi kuin varastopinoissa.

3.1.1.2 Keskiläpimitan ja sen hajonnan vaikutukset

Nipun keskimääräisen läpimitan ja sen hajonnan vaikutusta pinotiiviyteen tutkittiin Kaskisen aineistosta 158 nipun perusteella. Pölkkyjen keskimääräinen läpimita arvioitiin vastaanottomittauksessa silmävaraisesti tasaavaa 2 cm:n luokitusta käyttäen. Läpimittaluokan pinotiiviyttä korjaava vaikutus kirjattiin kuitupuun kiintomittausohjeen (1981) mukaisesti, jolloin eri läpimittaluokkiin kuuluville nipuille saattoi kirjautua sama korjaus. Täten läpimittaluokituksen osuvuutta ei voitu selvittää tarkasti, vaan sitä tarkasteltiin läpimitan aritmeettisen keskiarvon perusteella.

Läpimittaluokka oli vastaanottomittauksessa keskimäärin 11,8 cm ($s = 1,7$) ja tarkastusmittauksessa 12,1 cm ($s = 2,4$). Pölkkyjen läpimitan hajonta oli männyllä keskimäärin 3,2 cm ($CV = 27,1 \%$), kuusella 2,9 cm ($CV = 21,2 \%$), koivulla 3,1 cm ($CV = 33,4 \%$) ja haavalla 5,1 cm ($CV = 36,3 \%$). Vastaanottomittauksessa määritetyn läpimittaluokan tarkkuus verrattuna tarkastusmittauksessa määritettyyn todelliseen läpimittaan on esitetty puulajeittain taulukossa 3.

Läpimitan silmävarainen arviointi oli männyllä hyvin epätarkkaa muihin puulajeihin verrattuna. Arvioidun läpimittaluokan ja todellisen läpimitan korrelaatiot olivat puulajeittain seuraavat:

Puulaji	r	P_{hav}
Mänty	+0,095	0,401
Kuusi	+0,297	0,067
Koivu	+0,599	0,000
Haapa	+0,956	0,011

Taulukko 3. Nipun vastaanottomittauksessa arvioitu läpimittaluokka ja pölkkyjen todellinen keskiläpimitta puulajeittain.

Tunnusluku	Mänty	Kuusi	Koivu	Haapa
Läpimittaluokka (vastaanottomittaus), cm	11,9	11,2	11,8	15,4
Keskiläpimitta (tarkastusmittaus), cm	12,6	11,2	11,4	15,1
Nippukohtainen ero, cm	-0,7	0,0	+0,3	+0,3
Läpimitan eron keskihajonta, cm	3,0	1,2	1,5	1,1

Taulukko 4. Arvioidun ja mitatun läpimitan sekä läpimitan hajonnan korrelaatiot puulajeittain.

Puulaji	Arvioitu läpimitta		Mitattu läpimitta	
	r	P_{hav}	r	P_{hav}
Mänty	+0,350	0,001	+0,810	0,000
Kuusi	+0,129	0,433	+0,801	0,000
Koivu	+0,531	0,002	+0,882	0,000
Haapa	+0,958	0,010	+0,924	0,025

Läpimitta ei sinänsä vaikuta nipun tiivyyteen, mutta sillä voidaan selittää pinotiivyyden hajontaa järeyteen liittyvien välillisten vaikutusten kautta (Nikkilä ym. 1974, Sairanen 1995). Tässä tutkimuksessa ei selvitetty tyvipölkkyjen osuutta nipuissa. Sairasen (1995) mukaan järeydellä voidaan selittää mm. tyvipölkkyjen vaikutusta pitkän kuitupuun pinotiivyyteen varastopinoissa. Arvioidun läpimittaluokan ja tyviosuuden puulajeittaiset korrelaatiot olivat hänen tutkimuksessaan seuraavat:

Puulaji	r	P_{hav}
Mänty	-0,548	0,0001
Kuusi	-0,082	0,4200
Koivu	-0,695	0,0001

Täten läpimitan kasvaessa tyvipölkkyjen osuus vähenee mänty- ja koivupinoissa, koska järeää kuitupuuta sisältävät pinot tulevat päätehakuista, joissa latvustavara on vallitsevana. Ensiharvennusleimikoiden kuitupuu on puolestaan pieniläpimittaista runkotavaraa.

Tässä tutkimuksessa ei voitu havaita Sairasen (1995) tutkimuksen kaltaista arvioidun ja mitatun läpimitan korrelaatiota. Tämä vahvisti epäilyksiä mittaajakohtaisesta pinotiiviystekijöiden muokkauksesta tavoitteena otaksutun systemaattisen kiintotilavuusprosentin virheen korjaaminen (luku 3.2.2.3).

Tarkastusmittauksessa kuusi- ja koivunippujen keskimääräiset läpimitat vaikuttivat merkittävästi pinotiiviyteen, mutta mäntynipuilla vaikutus oli muita puulajeja heikompi. Haapanippujen läpimitan ja pinotiiviyden välillä ei ollut riippuvuutta, mikä saattoi johtua havaintojen vähäisyydestä:

	r	Phav
Mänty	+0,258	0,003
Kuusi	+0,409	0,010
Koivu	+0,549	0,001
Haapa	+0,054	0,931

Keskiläpimitan hajonta vaikutti Sairasen (1989a, 1995) tutkimusten tavoin ainoastaan koivunippujen tiiviyteen:

	r	Phav
Mänty	+0,161	0,107
Kuusi	+0,300	0,064
Koivu	+0,655	0,000
Haapa	+0,243	0,694

Läpimitan hajonta korreloi sekä arvioidun että mitatun läpimitan kanssa. Tässä tutkimuksessa tätä korrelaatiota ei kuitenkaan ollut kuusella. Läpimitan hajonnan sekä arvioidun ja mitatun läpimitan väliset korrelaatiot on esitetty taulukossa 4.

3.1.1.3 Muiden pinotiiviystekijöiden vaikutukset

Karsinta- ja oksaisuusluokan, mutkaisuusluokan ja ladontaluokan vaikutusta pinotiiviyteen tutkittiin Kaskisen aineistosta. Kyseisten tekijöiden määrittämisen tarkkuutta ei voitu selvittää yksittäisinä tekijöinä, sillä niitä ei määritetty tarkastusmittauksessa. Vastaanottomittauksessa määritettiin kuitenkin kyseisten tekijöiden vaikutukset kiintotilavuusprosenttiin.

Pinotiiviystekijöiden vaikutus vastaanottomittauksessa määritettyyn kiintotilavuusprosenttiin on esitetty puulajeittain taulukossa 5. Vastaanottomittauksessa määritettyjen pinotiiviystekijöiden ja pinotiiviyden väliset riippuvuudet olivat pääosin heikkoja ja osittain epäloogisia (taulukko 6).

3.1.1.4 Keskipituuden ja sen hajonnan vaikutukset

Puutavaraniipun pituuden vaikutusta pinotiiviyteen tutkittiin Kaskisen aineistosta. Tarkastusmittauksessa nipun tilavuudella painotettu keskipituus korreloi kaikilla puulajeilla pinotiiviyden kanssa oletusten mukaisesti aritmeettista keskipituutta paremmin. Vastaanottomittauksessa arvioitu keskipituus korreloi tilavuudella painotetun keskipituuden kanssa paremmin kuin aritmeettisen keskipituuden kanssa.

Taulukko 5. Pinotiivystekijöiden vaikutus kiintotilavuusprosenttiin vastaanottomittauksessa puulajeittain.

Tekijä	Vaikutus kiintotilavuusprosenttiin, %- yksikköä							
	Mänty		Kuusi		Koivu		Haapa	
	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s
Ladontaluokka	0,4	1,1	0,6	1,2	0,0	0,6	0,4	0,6
Karsinta- ja oksaisuusluokka	0,3	1,0	0,9	1,0	0,0	0,6	0,6	0,6
Mutkaisuusluokka	0,4	0,6	0,4	0,5	-0,1	0,9	0,4	0,9

Taulukko 6. Ladontaluokan, karsinta- ja oksaisuusluokan sekä mutkaisuusluokan keskimääräistä pinotiiviyttä korjaavan prosentuaalisen vaikutuksen korrelaatiot todellisen pinotiiviyden kanssa.

Puulaji	Ladontaluokka		Karsinta- ja oksaisuusluokka		Mutkaisuusluokka	
	r	P_{hav}	r	P_{hav}	r	P_{hav}
Mänty	+0,073	0,517	+0,265	0,017	-0,123	0,273
Kuusi	+0,459	0,003	+0,117	0,479	-0,047	0,777
Koivu	+0,270	0,136	-0,021	0,909	+0,246	0,175
Haapa	-0,876	0,051	-0,082	0,896	+0,770	0,128

Vastaanottomittauksessa arvioitu keskipituus korreloi tarkastusmittaukseen perustuneen tilavuudella painotetun keskipituuden kanssa puulajeittain seuraavasti:

	r	P_{hav}
Mänty	+0,710	0,000
Kuusi	+0,456	0,004
Koivu	+0,655	0,000
Haapa	+0,885	0,046

Myös puutavaraniipun keskipituuden hajonta korreloi tilavuudella painotetun keskipituuden kanssa aritmeettista keskipituutta paremmin.

Keskipituuden hajonta vaikutti pinotiiviyteen vaihtelevasti eri puulajeilla. Hajonnan kasvaessa pinotiiviyys yleensä aleni mutta merkittävästi vain kuusella. Koivulla hajonnan vaikutus oli päinvastainen. Pituuden hajonnan ja pinotiiviyden korrelaatiot olivat puulajeittain seuraavat:

	r	P_{hav}
Mänty	-0,143	0,106
Kuusi	-0,404	0,011
Koivu	+0,451	0,008
Haapa	-0,479	0,415

Taulukko 7. Nipun keskimääräinen kiintotilavuusprosentti vastaanotto- ja tarkastusmittauksessa puulajeittain ja pituusluokittain.

Puulaji	Pituusluokka, m							
	3,51...4,50				Yli 4,50			
	Vastaanotto		Tarkastus		Vastaanotto		Tarkastus	
	Kiintotilavuusprosentti							
	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s
Mänty	62,4	3,1	64,0	4,4	60,9	2,6	61,6	5,3
Kuusi	63,1	1,6	65,6	4,0	61,4	2,4	63,8	5,5
Koivu	52,9	2,5	51,7	4,1	50,6	2,3	51,9	4,3
Haapa	57,4	3,5	63,5	3,5	...	...	...	...

Tarkasteltaessa puutavaraniipun pituuden vaikutusta pinotiivyyteen aineisto jaettiin puutavaran tilavuudella painotetun keskipituuden perusteella luokkiin 3,51...4,50 m ja yli 4,50 m. Nippujen pölkkyjen tilavuudella painotettu keskipituus vaihteli tarkastusmittauksessa 341...506 cm. Nipuista 170 kuului lyhyempään ja 38 pidempään pituusluokkaan. Pituusluokittaiset kiintotilavuusprosentit vastaanotto- ja tarkastusmittauksessa on esitetty puulajeittain taulukossa 7.

Pitkän kuitupuun keskimääräiset kiintotilavuusprosentit ovat nykyisen kuitupuun pinomittausohjeen (1997) mukaan seuraavat eri pituusluokkien tienvarsipinoissa:

Pituus, m	Havupuu	Lehtipuu
	Kiintotilavuusprosentti, %	
3,51...4,50	61	52
4,51...5,50	60	50
5,51...6,00	59	49

Keskimääräiset kiintotilavuusprosentit olivat siis tämän tutkimuksen ajoneuvokuormanpuissa kaikissa pituusluokissa selvästi korkeampia kuin nykyisin sekä tienvarsipinoihin että ajoneuvokuormiin sovellettavat kiintotilavuusprosentit.

3.1.2 Pinotiiviyys junakuormassa

Junakuormien pinotiiviyttä tutkittiin ainoastaan männyllä Kaskisen ja Kemlin aineistoista. Junapuuta oli vain 30 nippua, yhteensä 491,8 m³, vertailuaineistona 101 nippua autokuormissa mitattua puuta. Junapuuniput olivat hieman autopuunippuja suurempia ja pinotiiviydeltään harvempia. Virhe tilavuuden määrittämisessä oli vastaanotossa junapuulla suurempi kuin autopuulla. Mittausvirheen hajonta oli junapuulla sen sijaan pienempi kuin autopuulla.

Männyn junapuunippujen kehystilavuus oli keskimäärin 28,5 m³ (s = 3,7), kun autopuunippujen kehystilavuus oli vastaavasti keskimäärin 25,0 m³ (s = 2,5). Nipun kiintotilavuus oli junakuormissa tarkastusmittauksen perusteella keskimäärin 16,4 m³ (s = 2,3) ja autokuormissa 15,6 m³ (s = 1,8). Keskimääräinen kiintotilavuusprosentti oli

junakuormissa 61,0 % ($s = 4,8$, vaihteluväli 51,6...70,7) ja autokuormissa 64,3 % ($s = 4,3$, vaihteluväli 55,1...81,4).

Nipun vastaanottomittauksessa määritetyn kiintotilavuuden virhe oli junapuulla keskimäärin +2,9 % ($s = 5,7$, vaihteluväli -8,8... +16,6) ja autopuulla +0,7 % ($s = 6,1$, vaihteluväli -11,0... +21,1). Kun kehystilavuutta korjattiin pölkkyjen tilavuudella painotetulla keskipituudella, keskimääräinen virhe oli junapuulla -2,8 % ($s = 7,2$, vaihteluväli -16,7...+14,2) ja autopuulla -1,9 % ($s = 6,7$, vaihteluväli -18,9... +15,9).

Eliminoitaessa kehystilavuuden mittausrvirhe sekä kiintotilavuuden keskimääräinen mittausrvirhe että virheen hajonta olivat siis junapuulla suurempia kuin autopuulla. Tässä tutkimuksessa ei kuitenkaan katsottu tarpeelliseksi erottaa auto- ja junapuun mittausta toisistaan, koska junapuun aineistoa oli vähän ja erot tilavuusrvirheessä olivat pieniä auto- ja junapuun välillä.

3.2 Tilavuuden määrittystarkkuus

3.2.1 Kokonaistilavuus

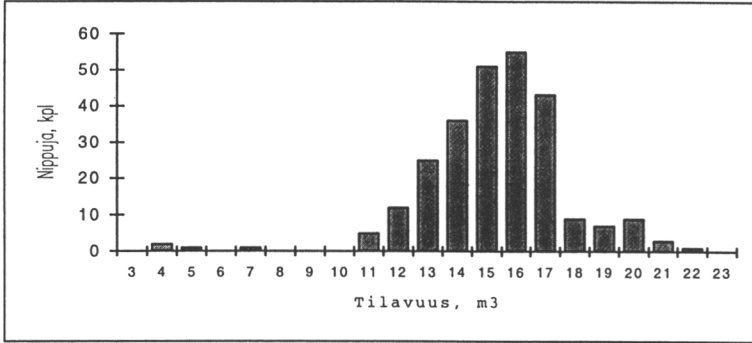
Kaskisen, Kemin, Kirkniemen ja Simpeleen puutavaraniippujen kokonaistilavuus oli vastaanottomittauksessa 4015,8 m³ ja tarkastusmittauksessa 3998,5 m³. Vastaanottomittauksessa kokonaistilavuutta oli siten yliarvioitu 0,4 %. Tarkinta tilavuuden määrittäminen oli tehtäistä Kaskisessa ja puulajeista kuusella (taulukko 8). Epätarkinta tilavuuden määrittäminen oli tehtäistä Kirkniemessä, jossa kuusen tilavuutta muista tehtäistä poiketen yliarvioitiin selvästi, ja puulajeista haavalla, jolle sovelletaan pääasiassa koivuun perustuvia tilavuuden määrittäksen perusteita.

3.2.2 Nipun tilavuus

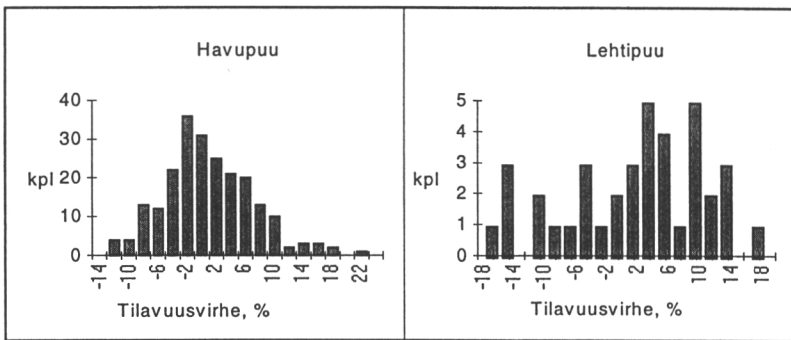
3.2.2.1 Vastaanottomitattu kiintotilavuus

Nipun keskimääräinen tilavuus oli vastaanottomittauksessa 15,5 m³ ($s = 2,3$, vaihteluväli 3,8...20,9) ja tarkastusmittauksessa 15,4 m³ ($s = 2,5$, vaihteluväli 3,6...22,4). Nippujen tilavuusjakauma on esitetty kuvassa 6. Vain muutama nippu oli kooltaan alle 10 m³, joka katsottiin tässä tutkimuksessa pienimmäksi eräksi normaalissa puukaupassa.

Nipun kiintotilavuutta oli vastaanottomittauksessa yliarvioitu keskimäärin 0,8 % ($s = 6,6$, vaihteluväli -17,9...+21,1). Sitä oli yliarvioitu Kaskisessa keskimäärin 0,3 %, Kemissä 1,3 % ja Kirkniemessä 3,6 % mutta aliarvioitu Simpeleessä keskimäärin 0,4 %. Nipun kiintotilavuutta oli vastaavasti yliarvioitu havupuulla keskimäärin 0,9 % ja lehtipuulla 0,2 %. Tilavuus oli määritetty kuitupuun pinomittausohjeen (1997) edellyttämällä ± 4 % tarkkuudella 49 prosentista havupuunippuja ja 34 prosentista lehtipuunippuja. Kuvassa 7 on kiintotilavuuden suhteellisen virheen jakauma havu- ja lehtipuulla. Yhteenveto tehdas- ja puulajikohtaisista nippujen tilavuuden mittausrvirheistä on taulukossa 9.



Kuva 6. Nippujen tilavuuden frekvenssijakauma tarkastusmittauksessa.



Kuva 7. Havu- ja lehtipuun nippujen suhteellisen tilavuusvirheen frekvenssijakauma.

Taulukko 8. Kokonaistilavuuden virhe puulajeittain eri tehtailla.

Tehdas	Puulaji				
	Mänty	Kuusi	Koivu	Haapa	Yhteensä
	Virhe kokonaistilavuudesta, %				
Kaskinen	+0,9	-1,5	+ 1,3	-12,0	-0,1
Kemi	+0,9	...	+10,9	...	+1,1
Kirkniemi	+0,2	+3,4	...	...	+3,0
Simpele	...	-0,5	...	...	-0,5
Yhteensä:	+0,8	+0,0	+ 1,7	-12,0	+0,4

3.2.2.2 Todellinen kehystilavuus

Kehystilavuuden mittaustarkkuutta tarkasteltiin Kaskisen ja Kemin aineistoista, joista oli mitattu nippujen aritmeettisen keskipituuden lisäksi tilavuudella painotettu keskipituus. Aineisto käsitti yhteensä 208 nippua, josta mäntyä oli 131, kuusta 39, koivua 33 ja haapaa 5.

Taulukko 9. Yhteenveto nipun kiintotilavuuden mittausvirheistä tehtaittain ja puulajeittain.

Puulaji Tunnusluku	Tehdas				
	Kaskinen	Kemi	Kirkniemi	Simpele	Yhteensä
Mäntv n	81	60	3	0	144
\bar{x}	+1,3	+1,2	-1,5		+1,2
s	6,2	6,3			6,2
min	-10,9	-9,5			-10,9
max	+21,1	+16,6			+21,1
Kuusi n	40	0	21	17	78
\bar{x}	-1,3		+4,0	-0,4	+0,3
s	5,8		5,9	4,3	5,9
min	-12,9		-7,8	-7,4	-12,9
max	+13,2		+17,5	+7,3	+17,5
Havupuu n	121	60	24	17	222
\bar{x}	+0,4	+1,2	+3,6	-0,4	+0,9
s	6,2	6,3	5,8	4,3	6,1
min	-12,9	-9,5	-7,8	-7,4	-12,9
max	+21,1	+16,6	+17,5	+7,3	+21,1
Koivu n	32	1	0	0	33
\bar{x}	+1,7	+11,6			+2,0
s	7,6				7,6
min	-15,2				-15,2
max	+15,6				+15,6
Haapa n	5	0	0	0	5
\bar{x}	-11,4				-11,4
s	8,5				8,5
min	-17,9				-17,9
max	+2,8				+2,8
Lehtipuu n	37	1	0	0	38
\bar{x}	-0,1	+11,6			+0,2
s	8,8				8,9
min	-17,9				-17,9
max	+15,6				+15,6
Kaikki n	158	61	24	17	260
\bar{x}	+0,3	+1,3	+3,6	-0,4	+0,8
s	6,9	6,4	5,8	4,3	6,6
min	-17,9	-9,5	-7,8	-7,4	-17,9
max	+21,1	+16,6	+17,5	+7,3	+21,1

Kehystilavuutta korjattiin sen vastaanottomittaustarkkuuden määrittämiseksi siten, että arvioitu nipun pituus korjattiin tarkastusmittauksessa saaduilla, läpimittaluokittain tilavuudella painotetuilla pölkkyjen keskipituuksilla. Saatua arvoa pidettiin *todellisena kehystilavuutena*. Nipun leveys ja korkeus katsottiin mitatun riittävän tarkasti jo vastaanottomittauksessa, joten niihin ei tehty korjauksia.

Nipun kehystilavuus oli vastaanottomittauksessa keskimäärin $25,3 \text{ m}^3$ ($s = 3,1$, vaihteluväli $8,2...34,9$) ja korjattu kehystilavuus $24,7 \text{ m}^3$ ($s = 2,9$, vaihteluväli $8,0...32,8$). Kehystilavuutta oli siten yliarvioitu nippukohtaisesti keskimäärin $2,7 \%$ ($s = 5,1$, vaihteluväli $-10,9...+17,0$). Virhe oli männyllä keskimäärin $+3,5 \%$, kuusella $+2,5 \%$, koivulla $+2,0 \%$ ja haavalla $-1,9 \%$.

Nipun keskipituuden arviointivirheen vaikutusta kiintotilavuuteen pienentää kehystilavuudessa oleva tyhjä tila, jota arviointivirhe on yhtenä tilavuuden dimensiona kasvattanut. Keskipituuden arviointivirheen aiheuttamasta kehystilavuuden virheestä ainoastaan kiintotilavuusprosentin suuruinen osa siirtyy kiintotilavuuden virheeksi.

3.2.2.3 Todellisen kehystilavuuden avulla laskettu kiintotilavuus

Todellisen kehystilavuuden avulla laskettua nippukohtaista kiintotilavuutta (*korjattu vastaanoton kiintotilavuus*) tarkasteltiin Kaskisen ja Kemin aineistoista. Nipun korjattu kiintotilavuus oli keskimäärin $15,0 \text{ m}^3$ ($s = 2,0$, vaihteluväli $4,2...20,2$). Kiintotilavuuden arviointivirhe oli vastaanottomittauksessa siten $-1,9 \%$ ($s = 6,7$, vaihteluväli $-18,9...+15,9$). Tämä oli pääosin kiintotilavuusprosentin arviointivirhettä. Ennen korjausta virhe oli näillä tehtailla keskimäärin $+0,6 \%$ ($s = 6,6$, vaihteluväli $-17,9...+21,1$). Virhe oli männyllä keskimäärin $-2,0 \%$, kuusella $-3,3 \%$, koivulla $+1,9 \%$ ja haavalla $-9,8 \%$ (taulukko 10).

Nipun tilavuuden mittausrvirheen muuttuminen korjauksessa $0,6$ prosentin yliarviosta $1,9$ prosentin aliarvioksi johtui todennäköisesti siitä, että mittaaja saattoi muokata joko nipun keskipituutta tai pinotiiivystekijöitä kokemusperäisesti päätellyn systemaattisen arviointivirheen poistamiseksi.

Korjattu kiintotilavuus oli määritetty kuitupuun pinomittausohjeen (1997) edellyttämällä $\pm 4 \%$ tarkkuudella 45 prosentista mäntynippuja, 48 prosentista kuusinippuja, 53 prosentista koivunippuja ja 18 prosentista haapanippuja.

Taulukossa 11 on esitetty mittaajakohtaisesti Kaskisen ja Kemin osalta keskimääräiset virheet nipun kehystilavuuden, todellisen kiintotilavuusprosentin ja kiintotilavuuden määrittämisessä. Virhe on laskettu niille mittaajille, joiden aineistossa oli yli 5 nippua. Mittausvirheet olivat eri mittaajilla pääsääntöisesti vastakkaisuuntaisia ja täten kompensoivat toisiaan kaikkien mittaajien keskimääräisiä tuloksia laskettaessa.

Taulukko 10. Nippujen todellisella kehystilavuudella korjatun vastaanotetun kiintotilavuuden keskimääräinen virhe puulajeittain.

Puulaji	Tilavuusvirhe, %		
	\bar{x}	s	Vaihteluväli
Mänty	-2,1	6,8	-18,9...+15,9
Kuusi	-3,3	5,0	-14,7...+10,6
Havupuu yht.	-2,4	6,4	-18,9...+15,9
Koivu	+1,9	6,4	-12,8...+11,4
Haapa	-9,8	6,4	-14,8...+ 0,8
Lehtipuu yht.	+0,3	7,5	-14,8...+11,5

Taulukko 11. Mittaajakohtainen kehystilavuuden, kiintotilavuusprosentin ja kiintotilavuuden virhe.

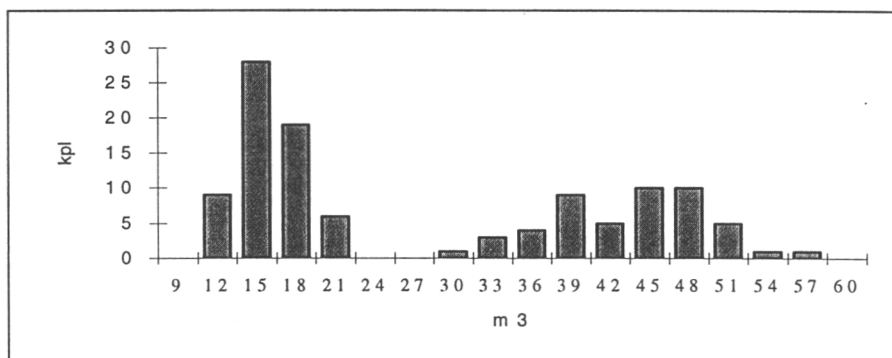
Mittaaja	Keskimääräinen virhe		
	Kehystilavuus, %	Kiintotilavuusprosentti	Kiintotilavuus, %
1	+1,8	+1,1	+2,8
2	+1,3	-2,5	-1,3
3	+6,6	-7,1	-1,0
4	-0,4	+1,3	+1,0
5	+6,5	-3,5	+2,8
6	+5,6	-2,7	+2,3
7	+8,3	-5,2	+2,5
8	+4,1	-2,2	+1,8
9	-3,1	+0,5	-2,8
10	+3,2	+0,6	+3,9
11	+8,8	-8,8	-1,0
12	+1,5	-2,3	-0,8
13	+0,6	-1,0	-0,5
14	-0,9	-3,3	-4,0

3.2.3 Erän tilavuus

3.2.3.1 Vastaanottomitattu kiintotilavuus

Eräkohtaista mittaustarkkuutta tarkasteltiin Kaskisen ja Kemlin aineistoista. Niput, joilla oli saman vastaanottotodistuksen numero, yhdistettiin myyjäkohtaisiksi toimituseriksi, jotka olivat kylläkin varsin pieniä. Nämä 111 toimituserää jakautuivat puulajeittain seuraavasti:

Mänty	82 erää	2306,6 m ³
Kuusi	15 erää	881,4 m ³
Koivu	14 erää	491,9 m ³
Yhteensä	111 erää	3678,7 m ³



Kuva 8. Erien tilavuuksien frekvenssijakauma tarkastusmittauksessa.

Erän keskimääräinen kehystilavuus oli vastaanottomittauksessa $46,4 \text{ m}^3$ ($s = 22,7$). Kiintotilavuus oli keskimäärin $28,1 \text{ m}^3$ ($s = 14,1$, vaihteluväli $11,8...58,8$), kun se oli tarkastusmittauksessa keskimäärin $28,0 \text{ m}^3$ ($s = 14,3$, vaihteluväli $11,7...56,8$). Erien tilavuuksien jakauma on kuvassa 8.

Erien kokonaistilavuutta oli yliarvioitu vastaanottomittauksessa $0,2 \%$ ja erän tilavuutta keskimäärin $0,8 \%$ ($s = 5,6$, vaihteluväli $-13,8...+16,6$). Erän tilavuuden puulajeittaiset tarkkuudet olivat seuraavat:

Puulaji	Eräkohtainen virhe, %	
	\bar{x}	s
Mänty	+1,0	5,5
Kuusi	-0,7	4,0
Koivu	+1,0	7,5

Erän tilavuus oli määritetty kuitupuun pinomittausohjeen (1997) edellyttämällä $\pm 4 \%$ tarkkuudella 57 prosentista mäntyeriä, 51 prosentista kuusieriä ja 44 prosentista koivueriä.

3.2.3.2 Todellisen kehystilavuuden avulla laskettu kiintotilavuus

Erien todellisella kehystilavuudella korjattua kokonaistilavuutta oli aliarvioitu $2,3 \%$. Erän kehystilavuus oli keskimäärin $45,2 \text{ m}^3$ ($s = 23,0$) ja kiintotilavuus $27,4 \text{ m}^3$ ($s = 14,2$, vaihteluväli $11,1...58,2$).

Erän tilavuutta oli aliarvioitu keskimäärin $2,6 \%$ ($s = 6,3$, vaihteluväli $-16,7... +14,3$). Erän todellisella kehystilavuudella korjatun tilavuuden puulajikohtaiset tarkkuudet olivat seuraavat:

Puulaji	Eräkohtainen virhe, %	
	\bar{x}	s
Mänty	-3,2	6,5
Kuusi	-3,0	4,4
Koivu	+1,3	6,2

Erän todellisella kehystilavuudella korjattu tilavuus oli määritetty kuitupuun pinomittausohjeen (1997) edellyttämällä ± 4 % tarkkuudella 53 prosentista mäntyeriä, 38 prosentista kuusieriä ja 52 prosentista koivueriä. Mittaustarkkuus huononi havupuulla ja parani koivulla eliminoitaessa kehystilavuuden mittausvirhe. Jäännösvirhettä selitti pääasiassa ajoneuvokuormanippujen käytössä olleita suurempi todellinen keskimääräinen kiintotilavuusprosentti.

3.3 Silmävarainen laadunmäärittäminen

Silmävaraisen laadunmäärittäksen luotettavuutta tarkasteltiin Kaskisen, Kemin, Kirkniemen ja Kuusanniemen aineistoista. Tämä aineisto, josta oli selvitetty hylätyn eli vajaalaatuisen puutavaran määrä vastaanottomittauksessa, käsitti 271 nippua, tilavuudeltaan 4163 m³.

Silmävarainen laadunmäärittäminen oli vaikeaa, koska se jouduttiin tekemään nipuista pintapuolisesti. Nipun sisällä olevan puutavaran laadun valvonta näytti olevan käytännössä lähes mahdotonta. Nipun sisällä olevista pölkyistä pyrittiin erottelemaan vain alamittaiset, lahot ja vierasta puulajia olleet; teknisiä vikoja ei yleensä voitu havaita lainkaan.

Vastaanottomittauksessa oli havaittu vajaalaatuista puutavaraa 54 nipussa, kun sitä oli tarkastusmittauksessa 224 nipussa. Taulukossa 12 on esitetty hylättyä puutavaraa sisältäneiden nippujen lukumäärät vajaalaatuisen puutavaran tilavuusosuuden mukaan.

Puutavaran kokonaistilavuudesta oli hylätty vastaanottomittauksessa 0,4 %, yhteensä 14,7 m³, ja tarkastusmittauksessa 1,6 %, yhteensä 66,3 m³. Vajaalaatuisen puutavaran kokonaismäärästä oli havaittu vastaanotossa ainoastaan 22,2 %. Yhdestä nipusta oli hylätty vastaanottomittauksessa keskimäärin 0,05 m³ eli 0,4 % ja tarkastusmittauksessa keskimäärin 0,25 m³ eli 1,7 %. Nipun vastaanotto- ja tarkastusmittauksessa hylätyn puutavaran tilavuuden korrelaatiokerroin oli keskimäärin +0,492, männyllä +0,311, kuusella +0,615 ja koivulla +0,325.

Vastaanottomittauksessa hylätystä 14,7 m³:stä oli pääasiallinen hylkäyisyys määritetty 11,3 m³:stä puutavaraa. Hylätystä puutavarasta oli alamittaista 22,1 %, lahoa 46,0 %, vierasta puulajia 8,8 %, teknistä vikaa sisältävää 18,7 % ja muita vikoja sisältävää 4,4 %.

Tarkastusmittauksessa hylätystä 66,3 m³:stä oli pääasiallinen hylkäyisyys määritetty 41,9 m³:stä puutavaraa. Tästä oli alamittaista 34,8 %, lahoa 17,7 %, vierasta puulajia 0,5 %, teknistä vikaa sisältävää 40,8 % ja muita vikoja sisältävää 6,2 %.

Taulukko 12. Vajaalaatuista puutavaraa sisältäneiden nippujen lukumäärät vastaanotto- ja tarkastusmittauksessa.

Vajaalaatuisten puutavaran osuus, %	Nippuja, kpl	
	Vastaanotto	Tarkastus
0	217	47
0 - 1	20	104
1 - 2	22	45
2 - 5	9	52
5 - 10	1	17
yli 10	2	6

Taulukko 13. Keskimääräiset kiintotilavuusprosentit havu- ja lehtipuulla tienvarsipinoihin perustuvan kuitupuun pinomittauksen (1997) ja tämän tutkimuksen ajoneuvokuorma-aineiston mukaan.

Puutavaran pituus, m	Keskimääräinen kiintotilavuusprosentti			
	Havupuu		Lehtipuu	
	Pinoissa	Ajoneuvossa	Pinoissa	Ajoneuvossa
alle 4,5	61	65	52	53
4,5...5,5	60	62	50	53
yli 5,5	59	60	49	52

3.4 Pinomenetelmä ajoneuvokuormien mittauksessa

Pinotiivistekijöiden vaikutusta kiintotilavuusprosenttiin tarkasteltiin Kaskisen aineistosta. Lineaarisen regressioanalyysin avulla laskettiin kuitupuun pinomittauksen (1997) mukaisten tekijöiden kiintotilavuusprosenttia korjaavat vaikutukset ajoneuvokuormamittauksessa. Liitteessä 3 on kuvattu sekä nykyisen, tienvarsivarastopinoihin perustuvan ohjeen mukainen (Kuitupuun pinomittaus 1997) että tämän tutkimuksen ajoneuvokuorma-aineiston perusteella korjattuihin keskimääräisiin kiintotilavuusprosentteihin ja pinotiivistekijöiden vaikutuksiin nojaava menetelmä.

Keskimääräiset kiintotilavuusprosentit olivat ajoneuvokuormissa selvästi suurempia kuin nykyisessä menetelmässä (taulukko 13). Lisäksi eri pinotiivistekijöiden vaikutukset kiintotilavuusprosentteihin olivat pääosin selvästi suurempia kuin nykyisessä menetelmässä. Keskilämpötilan kiintotilavuusprosenttia kohottava vaikutus oli havupuulla järeitä pölkkyjä sisältävillä nipuilla lähes kaksinkertainen ja karsinta- ja oksaisuusluokan kiintotilavuusprosenttia laskeva vaikutus lehtipuulla kolminkertainen. Ladontaluokan vaikutus oli sekä havu- että lehtipuulla nykyisen menetelmän tasolla. Mutkaisuusluokalla ei ollut havupuulla sanottavaa vaikutusta kiintotilavuusprosenttiin, mutta lehtipuulla kiintotilavuusprosenttia alentava vaikutus oli kolminkertainen nykyiseen menetelmään verrattuna.

Testattaessa korjattua menetelmää tutkimusaineistossa päästiin taulukon 14 mukaisiin mittaustarkkuuksiin. Mittaustarkkuus oli korjatulla menetelmällä jopa jossain määrin

Taulukko 14. Tämän tutkimuksen perusteella korjatun kuitupuun mittausten menetelmän mukainen mittaustarkkuus tutkimusaineistossa havu- ja lehtipuulla käyttäen vastaanottomittauksen mukaista ja tarkastusmittauksen pölkkyjen pituudella korjattua kehystilavuutta.

Tunnusluku	Havupuu		Lehtipuu	
	Vastaanotto- mittauksen kehystilavuus	Korjattu kehystilavuus	Vastaanotto- mitattu kehystilavuus	Korjattu kehystilavuus
Eriä, kpl	119	119	36	36
Virhe kokonais- tilavuudessa, %	+3,2	+1,4	+0,4	+1,2
Virhe erän tilavuudessa, %				
\bar{x}	+3,7	+1,7	+1,2	+1,6
s	7,2	7,0	9,0	7,5
min	-13,2	-15,2	-14,8	-11,7
max	+26,3	+21,3	+18,6	+11,5
Tilavuus määritetty ± 4 % tarkkuudella, %				
Nipuista	37,8	42,0	30,6	33,3
Tilavuudesta	37,2	41,8	30,2	32,8

huonompi kuin nykyisellä menetelmällä. Tämä johtuu ainakin osaksi siitä, että vastaanottomittauksessa ei oltu noudatettu kirjaimellisesti mittausten menetelmän ohjeita pinotiivystekijöitä arvioitaessa, vaan oikeaan kiintotilavuuteen oli pyritty muokkaamalla sekä kehystilavuutta että pinotiivystekijöitä mittaajien aiempien kokemusten perusteella.

3.5 Nipun pinotiivys- ja tilavuusmallit

3.5.1 Pinotiivyyden vaihtelumallit

Nipun pinotiivyyden vaihteluun vaikuttavia tekijöitä tarkasteltiin askeltavalla regressioanalyysillä Kaskisen ja Kemin aineistoista. Männyllä pinotiivyyden vaihtelua selittivät parhaiten nipun leveys, tilavuudella painotettu keskipituus, keskiläpimitta, vajaalaatuisen puutavaran määrä, lumisuusluokka ja tiivisyysluokka, yhteensä 33,1 % (liitteet 1 ja 2). Kuusella pinotiivyyttä selittivät parhaiten nipun korkeus, keskipituuden hajonta, läpimitan hajonta sekä lumisuus- ja tiivisyysluokka, yhteensä 64,1 %. Koivulla pinotiivyyden vaihtelua selittivät parhaiten nipun leveys, keskipituuden hajonta ja läpimitan hajonta, yhteensä 60,5 %. Koivuaineistossa ei ollut lainkaan lumista puuta.

Lumisuusluokka oli ainoa hyvä pinotiivyyden selittäjä koko havupuunaineistossa. Koska selitysasteet olivat tällöinkin männyllä ja kuusella selvästi eri tasolla, havupuulajit katsottiin tarpeelliseksi pitää erillään toisistaan.

Pinotiivyyttä selittävistä tekijöistä korreloivat männyllä keskipituus ja -läpimitta ja kuusella keskipituuden ja läpimitan hajonnat selvästi keskenään. Selitysasteet alenivat

edellä esitetystä männyllä 1,4 %-yksikköä ja kuuselle 22,3 %-yksikköä, kun selittäjiksi valittiin ensinmainitulla puulajilla nipun sisäiset keskipituuden ja -läpimitan keskihajonnat ja jälkimmäisellä puulajilla vastaavasti keskipituus- ja läpimita. Hajontaluvut valikoituivat selitysmalliin myös koivulla, joten ne olisivat sellaisinaan hyviä pinotiiviuden vaihtelun selittäjiä kaikilla puulajeilla. Myös nipun kokoa kuvaavat tekijät (nipun korkeus, leveys ja pituus) olivat kaikilla puulajeilla hyviä pinotiiviuden selittäjiä. Hajontalukuja ei kuitenkaan voida käyttää käytännön mittauksessa, koska niitä ei pystytä selvittämään ainakaan nykyisen kaltaisessa vastaanottomittauksessa.

Nippukohtaista pinotiiviyttä tarkasteltaessa on otettava huomioon, että kehystilavuuteen vaikuttavaa pölkkyjen keskipituutta ja kiintotilavuusprosenttiin vaikuttavia pinotiiviystekijöitä ei mahdollisesti oltu määritetty toisistaan riippumattomasti vastaanottomittauksessa. Täten tässä tutkimuksessa pyrittiin ensisijaisesti selittämään *tarkastusmittauksen* mukaisen kiintotilavuuden vaihtelua.

3.5.2 Kiintotilavuuden vaihtelumallit

3.5.2.1 Yleistä

Nipun kiintotilavuuden vaihteluun vaikuttavia tekijöitä tutkittiin askeltavalla regressioanalyysillä Kaskisen ja Kemin aineistoista. Regressioanalyysillä selvitetiin keskeisimpien kiintotilavuuteen vaikuttavien tekijöiden merkitsevyys ja määritettiin niiden tärkeysjärjestys kiintotilavuuden vaihtelun selittäjinä. Lisäksi regressioanalyysin perusteella voitiin esittää kiintotilavuuden vaihtelumallit eri puulajeille. Käytännön mittauksessa on tärkeää, että kiintotilavuuteen vaikuttavat tekijät voidaan huomioida objektiivisesti, ilman mittaaja- ja mittaustilanteeseen tai aikaan sidottua vaihtelua.

Kehystilavuus selitti yksittäisenä tekijänä männyllä 66,3 %, kuusella 44,7 % ja koivulla 79,8 % nipun kiintotilavuuden vaihtelusta. Kehystilavuuden vaihtelu muodostuu pääosin nipun korkeuden, leveyden ja pituuden vaihteluista. Täten kiintotilavuuden vaihtelumalliin oli mielekäästä sisällyttää vain kehystilavuus tai vaihtoehtoisesti sen muodostavat yksittäiset tekijät. Kehystilavuuden selittäessä jo yksinään yli kaksi kolmasosaa männyn ja koivun sekä lähes puolet kuusen kiintotilavuuden vaihtelusta, oli luonnollista käyttää selittävänä tekijänä kehystilavuutta.

Nykyisen mittaushjeen mukainen 2 cm:n tasaava läpimittaluokitus korvattiin tätä karkeammalla 4 cm:n tasaavalla luokituksella läpimittaluokan määrityksen helpottamiseksi:

Ehdotettu luokka cm	Pölkkyjen keski- läpimitta, cm	Vastaavat nykyiset luokat, keskiläpimitta, cm
10	alle 12,0	9 - 11
14	12,0...15,9	13 - 15
18	16,0...19,9	17 - 19
22	20,0...23,9	21 - 23
24	yli 23,9	25 +

Kiintotilavuuden vaihtelua selittäviä malleja tarkasteltaessa on otettava huomioon aineiston puutteet, jotka vaikeuttivat luotettavien mallien laadintaa. Suuria läpimittaluokkia edustavat niput puuttuivat kaikilla puulajeilla kokonaan ja ainoastaan männällä voitiin nippujen läpimittaluokkajakaumaa pitää tyydyttävän laajana. Väljintä tiiviysluokkaa edustavia nippuja ei aineistossa ollut lainkaan. Kuusella tiiviysluokka vaikutti epäloogisesti pinotiiviuden kasvaessa. Tämä johtui ensinnäkin siitä, että suurin osa kuusinipuista oli arvioitu kuuluvaksi luokkaan 2, ja toiseksi luokkiin 1 ja 3 oli arvioitu kuuluvaksi muutamia nippuja, jotka eivät poikenneet oleellisesti luokan 2 nipuista. Täten pinotiiviuden vähäinen hajonta ei antanut mahdollisuutta hyödyntää tiiviysluokitusta kuusella. Lumisimman luokan aineisto puuttui kaikilta puulajeilta. Aineisto jakautui tasaisesti eri kuitulajiluokkiin, mutta pinotiiviydellä tai kiintotilavuudella ei havaittu yhteyttä tähän tekijään.

Edellämainittuihin tekijöihin perustuneiden mallien lisäksi laadittiin vertailun vuoksi kuitupuun kiintomittausohjeen (1981) mukaisiin tekijöihin perustuneet mallit. Ne tehtiin menetelmän mukaisesti erikseen vain havu- ja lehtipuulle.

3.5.2.2 Kuitupuun kiintomittausohjeen mukaiset mallit

Kuitupuun kiintomittausohjeen (1981) mukaisten tekijöiden perusteella laaditut mallit havu- ja lehtipuulle saivat seuraavan rakenteen:

Havupuu:

$$Y = 2,701 - 0,413X_1 + 0,588X_2 - 0,533X_3 - 0,569X_4 - 0,166X_5 + 0,209X_6$$

$$\text{Selitysaste } (r^2) = 74,9 \%$$

$$\text{Jäännöshajonta (SEE)} = 0,867 \text{ m}^3$$

Lehtipuu:

$$Y = 2,510 - 0,142X_1 + 0,534X_2 - 0,395X_3 - 0,872X_4 - 1,017X_5 + 0,212X_6$$

$$\text{Selitysaste } (r^2) = 82,9 \%$$

$$\text{Jäännöshajonta (SEE)} = 1,155 \text{ m}^3$$

$$Y = \text{nipun kiintotilavuus, m}^3$$

$$X_1 = \text{puutavaran pituusluokka}$$

$$X_2 = \text{kehystilavuus, m}^3$$

$$X_3 = \text{ladontaluokka}$$

$$X_4 = \text{karsinta- ja oksaisuusluokka}$$

$$X_5 = \text{mutkaisuusluokka}$$

$$X_6 = \text{löpimittaluokka, cm}$$

3.5.2.3 Männyn tilavuusmalli

Nipun kiintotilavuuden vaihtelua selittivät männyllä seuraavat yksittäiset tekijät:

Tekijä	Selitysaste (r^2), %
Kehystilavuus	66,3
Ehdotettu läpimittaluokka	6,3
Tiiviysluokka	6,2
Nykyinen läpimittaluokka	5,0
Pölkkyjen pituuden hajonta	4,2
Pölkkyjen läpimitan hajonta	3,9
Lumisuusluokka	0,9
Vajaalaatuisen puutavaran määrä	0,4

Käytännössä soveltamiskelpoiseen tilavuusmalliin voidaan ottaa mukaan vain vastaanottomittauksessa määritettävissä olevia tekijöitä, joten hajontalukuja ei voida käyttää sellaisenaan. Myös vajaalaatuisen puutavaran määrän toteaminen on kyseenalaista tarkastusmittausta vastaavalla tarkkuudella. Nykyinen ja ehdotettu läpimittaluokitus ovat luonnollisesti myös vaihtoehtoisia menettelytapoja.

Lineaarisen regressioanalyysin perusteella mäntynippujen kiintotilavuuden vaihtelua voitiin selittää parhaiten yhtälöllä:

$$Y = 4,053 + 0,514X_1 + 0,153X_2 - 0,699X_3 - 1,620X_4$$

Y = nipun kiintotilavuus, m³

X₁ = kehystilavuus, m³

X₂ = ehdotettu läpimittaluokka, cm

X₃ = tiiviysluokka

X₄ = lumisuusluokka

Selitysaste (r^2) = 76,7 %

Jäännöshajonta (SEE) = 0,914 m³

Vaikka lumisen puun osuus mäntyaineistosta oli ainoastaan 6 %, lumisuusluokan mukaan ottaminen paransi mallin selitysastetta 2,3 %-yksikköä.

3.5.2.4 Kuusen tilavuusmalli

Nipun kiintotilavuuden vaihtelua selittivät kuusella seuraavat yksittäiset tekijät:

Tekijä	Selitysaste (r^2), %
Kehystilavuus	44,7
Nykyinen läpimittaluokka	17,3
Pölkkyjen läpimitan hajonta	16,3
Ehdotettu läpimittaluokka	12,0
Pölkkyjen pituuden hajonta	7,1
Lumisuusluokka	2,1
Kuitulajiluokka	1,3
Tiiviysluokka	0,5

Lineaarisen regressioanalyysin perusteella kuusinippujen kiintotilavuuden vaihtelua voitiin selittää parhaiten yhtälöllä:

$$Y = 3,058 + 0,499X_1 + 0,228X_2 - 1,558X_3$$

Y = nipun kiintotilavuus, m³

X₁ = kehystilavuus, m³

X₂ = ehdotettu läpimittaluokka, cm

X₃ = lumisuusluokka

Selitysaste (r²) = 57,9 %

Jäännöshajonta (SEE) = 0,921 m³

Mikäli pölkkyjen pituuden ja läpimitan hajontoja olisi käytetty mallissa sellaisinaan, selitysaste olisi ollut 74,1 %. Jos malliin olisi sisällytetty kuitulajiluokka, selitysaste olisi ollut 58,6 %. Nykyinen läpimittaluokka olisi ollut yksittäisenä tekijänä parempi kiintotilavuuden selittäjä kuin ehdotettu luokka. Jos edellä mainitussa mallissa olisi käytetty nykyistä läpimittaluokkaa ehdotetun sijasta, kokonaisselitysaste olisi kuitenkin alentunut 0,6 %-yksikköä. Täten ehdotettu läpimittaluokka sisällytettiin malliin selittäväksi tekijäksi. Ehdotettu läpimittaluokka korreloi selvästi läpimitan hajonnan kanssa (r = 0,829).

3.5.2.4 Koivun tilavuusmalli

Selitettäessä koivun kiintotilavuusprosentin vaihtelua pölkkyjen pituuden ja läpimitan hajonnat olivat hyviä yksittäisiä selittäjiä, mutta nipun kiintotilavuuden vaihtelun osalta niiden selittävyys oli heikko. Yksittäisenä tekijänä kehystilavuus selitti kiintotilavuuden vaihtelusta jo 79,8 % ja ehdotettu läpimittaluokka 3,8 %. Muilla tekijöillä ei ollut merkitsevää selittävyttä.

Lineaarisen regressioanalyysin perusteella koivunippujen kiintotilavuuden vaihtelua voitiin selittää parhaiten yhtälöllä:

$$Y = -1,586 + 0,502X_1 + 0,208X_2 - 0,198 X_3$$

Y = nipun kiintotilavuus, m³

X₁ = kehystilavuus, m³

X₂ = ehdotettu läpimittaluokka, cm

X₃ = tiiviysluokka

Selitysaste (r²) = 84,1 %

Jäännöshajonta (SEE) = 0,923 m³

Käytettäessä lisäselittäjänä pölkkyjen pituuden ja läpimitan hajontoja selitysaste olisi ollut 90,4 %.

3.5.3 Tilavuusmallien testaus

3.5.3.1 Kuitupuun kiintomittausohjeen mukaiset mallit

Kun kuitupuun kiintomittausohjeen (1981) mukaisten tekijöiden perusteella laadittiin havu- ja lehtipuulle kiintotilavuuden vaihtelua selittävät lineaariset regressiomallit, nipun kiintotilavuuden keskimääräinen virhe oli vastaanottomittauksessa kaikella havupuulla +1,4 % (s = 6,8, vaihteluväli -15,5...+23,3) ja lehtipuulla +0,8 % (s = 9,1, vaihteluväli -15,1...+19,6). Eliminoitaessa vastaanottomittauksen kehystilavuuden virhe kiintotilavuuden virhe oli havupuulla keskimäärin -0,3 % (s = 6,5) ja lehtipuulla +1,0 % (s = 7,6).

Erän kiintotilavuuden keskimääräinen virhe oli kaikella havupuulla +1,2 % (s = 5,8, vaihteluväli -15,5...+14,4) ja lehtipuulla +1,0 % (s = 7,8, vaihteluväli -11,4... +16,1). Havupuueristä oli mitattu 54 % ja lehtipuueristä 43 % kuitupuun pinomittausohjeen (1997) edellyttämällä ± 4 % tarkkuudella.

Eliminoitaessa vastaanottomittauksen kehystilavuuden virhe erän kiintotilavuuden virhe oli havupuulla keskimäärin -0,2 % (s = 5,4) ja lehtipuulla +1,8 % (s = 6,3). Havupuueristä oli tällöin mitattu 48 % ja lehtipuueristä 36 % kuitupuun pinomittausohjeen (1997) edellyttämällä ± 4 % tarkkuudella.

4.5.3.2 Puulajikohtaiset mallit

Testattaessa männyn, kuusen ja koivun kiintotilavuutta selittäviä malleja Kaskisen ja Kemian aineistoilla nipun tilavuuden määritysvirheet olivat vastaanotossa seuraavat:

Puulaji	Virhe nipun kiintotilavuudessa, %		
	\bar{x}	s	Vaihteluväli
Mänty	+0,7	7,7	-17,3... +20,3
Kuusi	+2,4	7,6	-11,5... +21,8
Koivu	+0,4	8,0	-17,4... +14,9

Kun vastaanottomittauksen kehystilavuuden virhe eliminoitiin, nipun tilavuuden määritysvirheet olivat vastaavasti seuraavat:

Puulaji	Virhe nipun kiintotilavuudessa, %		
	\bar{x}	s	Vaihteluväli
Mänty	-0,6	7,7	-15,9... +18,2
Kuusi	+0,6	6,6	-10,4... +19,8
Koivu	+0,4	6,1	-14,8... +11,6

Testattaessa männyn, kuusen ja koivun kiintotilavuutta selittäviä malleja erän tilavuuden määrittämisvirheet olivat seuraavat:

Puulaji	Virhe erän kiintotilavuudessa, %		
	\bar{x}	s	Vaihteluväli
Mänty	+0,1	6,7	-16,5... +11,7
Kuusi	+2,5	6,8	-7,6... +15,0
Koivu	+0,1	7,4	-10,0... +12,7

Mäntyeristä oli tällöin mitattu 50 %, kuusieristä 40 % ja koivueristä 43 % kuitupuun pinomittausohjeen (1997) edellyttämällä ± 4 % tarkkuudella.

Kun vastaanottomittauksen kehystilavuuden virhe eliminoitiin, erän tilavuuden määrittämisvirheet olivat vastaavasti seuraavat:

Puulaji	Virhe erän kiintotilavuudessa, %		
	\bar{x}	s	Vaihteluväli
Mänty	-1,0	5,8	-15,5... +12,1
Kuusi	+1,1	6,0	-6,9... +13,2
Koivu	+0,5	5,4	-9,6... +11,6

Mäntyeristä oli tällöin mitattu 66 %, kuusieristä 60 % ja koivueristä 57 % kuitupuun pinomittausohjeen (1997) edellyttämällä ± 4 % tarkkuudella.

4 TULOSTEN TARKASTELU JA JOHTOPÄÄTÖKSET

4.1 Tulosten luotettavuus ja yleistettävyys

Tutkimusaineisto jäi luvussa 2.1 mainituista syistä suunniteltua pienemmäksi, mutta tilastotieteellistä käsittelyä varten aineiston määrää voitiin kuitenkin pitää riittävänä. Aineisto kerättiin useilta maantieteellisesti eri paikoissa sijaitsevilta tehtailta, joten puutavaran mittausteknisten ominaisuuksien vaihtelun voitiin tässä suhteessa olettaa katetun riittävästi. Sen sijaan vuodenajasta johtuvaa vaihtelua ei aineistoon sisällynyt juuri lainkaan, koska valtaosa aineistosta kerättiin keväällä ja kesällä.

Yksittäisen nipun pölkkyjen pituuden hajonta oli huomattavan suuri ollakseen ns. likipituista kuitupuuta, jolla 90 % pölkkyistä tulisi olla katkottu ± 10 prosentin tarkkuudella annetusta ohjepituudesta (Kuitupuun pinomittaus 1997). Havaintoja likipituisten kuitupuun huonosta katkontatarkkuudesta sekä runsaista ohjepituutta lyhyemmistä tyveyksistä, mitkä tekijät myös aiheuttavat luultua enemmän peräkkäisten nippujen limittäisyyttä ja päällekkäisyyttä, on tehty myös käytännön tehdasmittauksessa. Tätä on pidetty yhtenä syynä siihen, että likipituisten kuitupuun pinomittauksen (1997) tarkkuusvaatimus ± 4 % ei ole toteutunut läheskään aina.

Nykyisen kuitupuukuormien mittausten tarkkuutta koskevia tuloksia voitaneen pitää luotettavina ja edustavina lumettomana aikana. Kiintotilavuuden vaihtelua selittävien mallien laadinnassa oli mahdollista käyttää ainoastaan Kaskisen ja Kemien

aineistoja ja mallit testattiin samalla aineistolla kuin millä ne laadittiin. Mallien laadintaa vaikeutti aineiston keruutavasta johtunut epävarmuus pinotiivistekijöiden määrityksen oikeellisuudesta. Malleilla saavutettava mittaustarkkuus ja luotettavuus tulisi testata vielä erillisellä aineistolla. Mallien tarkentamiseksi mittaukseen myös talviaikana tulisi kerätä lisäaineisto lumisena aikana. Lisäksi tarvittaisiin uutta aineistoa osa- ja vajaanippuja sisältävistä kuormista.

4.2 Menetelmien vertailu

Pitkän kuitupuun ajoneuvokuormamittauksen tarkkuutta arvioitaessa tarkasteltiin aineistossa toteutunutta mittaustarkkuutta nippu- ja eräkohtaisesti, nykyisin käytettäviin pinotiivistekijöihin perustuvan kiintotilavuuden vaihtelua selittävän mallin tarkkuutta sekä ehdotettuihin pinotiivistekijöihin perustuvan mallin tarkkuutta. Taulukossa 15 on yhteenveto eri menetelmien eräkohtaisesta tarkkuudesta.

Paras keskimääräinen kiintotilavuuden määritystarkkuus saavutettiin sekä vastaanottomitatun että todellisen kehystilavuuden perusteella havupuulla nykyisiin pinotiivistekijöihin perustuvalla kiintotilavuuden vaihtelua selittävällä mallilla ja lehtipuulla ehdotettuihin tekijöihin perustuvalla mallilla.

Testattaessa aineistoa todelliseen kehystilavuuteen perustuvilla menetelmillä voitiin eniten eriä mitata kuitupuun pinomittausohjeen (1997) edellyttämällä ± 4 % tarkkuudella, kun käytettiin ehdotettuihin pinotiivistekijöihin perustuvaa mallia (taulukko 16). Nykyisin käytettävä kuitupuun kiintomittausohjeen (1981) mukainen menetelmä oli tarkkuudeltaan tutkituista menetelmistä huonoin, kun verrataan todelliseen kehystilavuuteen perustuvaa mittaustarkkuutta.

Myös Sairasen (1995) tienvarsipinoja koskeneessa tutkimuksessa nykyisin käytettävän menetelmän tarkkuus oli huono: keskimääräinen virhe pinon tilavuudessa oli männyllä +6,3 %, kuusella +3,3 % ja koivulla peräti +12,5 %. Tilavuus oli määritetty kuitupuun pinomittausohjeen (1997) edellyttämällä ± 4 % tarkkuudella 40 prosentista mäntypinoja, 57 prosentista kuusipinoja ja vain 23 prosentista koivupinoja.

Mittaustarkkuutta voitiin Sairasen (1995) mukaan parantaa ns. kahden tekijän mallilla, jossa pinotiivyyden vaihtelua selittivät läpimitta- ja ladontaluokka. Tällöin tilavuus oli määritetty kuitupuun pinomittausohjeen (1997) edellyttämällä ± 4 % tarkkuudella 68 prosentista mäntypinoja, 66 prosentista kuusipinoja mutta edelleen vain 44 prosentista koivupinoja.

4.3 Päätelmiä

Nykyinen pinomenetelmä soveltuu tutkimuksen mukaan kokonaisuutena myös ajoneuvokuormassa tapahtuvaan pitkän kuitupuun eräkohtaiseen mittaukseen tarkkuuden olennaisesti huonontumatta tienvarressa tapahtuvaan mittaukseen verrattuna. Menetelmä täyttää kuitenkin huonosti kuitupuun pinomittausohjeen (1997) vaatimuksen ± 4 % eräkohtaisesta mittaustarkkuudesta. Samaan tarkkuuteen päästäisiin

Taulukko 15. Erän kiintotilavuuden mittaustarkkuus tutkituilla vastaanottomittausmenetelmillä.

Kehystilavuuden määrittystapa	Puulaji					
	Mänty		Kuusi		Koivu	
	Virhe erän kiintotilavuudessa, %					
	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s
	Käytetty menetelmä					
Vastaanottomittaus	+1,0	5,5	-0,7	4,0	+1,0	7,5
Todellinen	-3,3	6,5	-3,0	4,4	+1,3	6,2
	Nykyisiin pinotiiviystekijöihin perustuvat mallit					
Vastaanottomittaus	+1,2 *	5,8 *	+1,2 *	5,8 *	+1,0	7,8
Todellinen	-0,2 *	5,4 *	-0,2 *	5,4 *	+1,8	6,3
	Ehdotettuihin pinotiiviystekijöihin perustuvat mallit					
Vastaanottomittaus	+0,1	6,7	+2,5	6,8	+0,1	7,4
Todellinen	-1,0	5,8	+1,1	6,0	+0,5	5,4

* Männyllä ja kuusella yhteinen malli

Taulukko 16. Kuitupuun pinomittausohjeen (1997) edellyttämällä ± 4 % tarkkuudella mitattujen erien osuudet puulajeittain.

Kehystilavuuden määrittystapa	Puulaji		
	Mänty	Kuusi	Koivu
	Edellytetyllä tarkkuudella mitattujen erien osuus, %		
	Käytetty menetelmä		
Vastaanottomittaus	57,1	50,8	43,9
Todellinen	52,9	37,7	51,6
	Nykyisiin pinotiiviystekijöihin perustuvat mallit		
Vastaanottomittaus	53,5*	53,5*	42,8
Todellinen	48,7*	48,7*	35,5
	Ehdotettuihin pinotiiviystekijöihin perustuvat mallit		
Vastaanottomittaus	52,1	42,2	48,5
Todellinen	65,8	61,6	60,9

* Männyllä ja kuusella yhteinen malli

myös yksinkertaistetulla menetelmällä, jossa määritettäviä pinotiiviystekijöitä olisivat vain läpimitta- ja tiiviysluokka.

Pinomittauksen tarkkuutta ajoneuvokuormassa voitaisiin oleellisesti parantaa lisäämällä mittaajien koulutusta ja mittausohjeiden soveltamisen valvontaa. Nykyisten

keskimääräisten kiintotilavuusprosenttien korvaaminen nykyolosuhteita paremmin kuvaavilla pituusluokittaisilla kiintotilavuusprosentteilla parantaisi tarkkuutta. Tällöin mittaajilla ei olisi kiusausta muokata kehystilavuutta ja pinotiivistekijöitä arvelemansa systemaattisen kiintotilavuusprosentin virheen poistamiseksi. Mikäli pinotiiviyys olisi tässäkin tutkimuksessa määritetty noudattaen aineiston keruussa tiukasti nykyisiä ohjeita, vastaanottomittauksen tarkkuus olisi todennäköisesti ollut vielä todettua huonompi

Ajoneuvokuormamittauksen tarkkuutta voitaisiin parantaa myös vähentämällä pinotiiviyden määrityksen subjektiivisuutta ja käyttämällä kehystilavuuden mittauksessa apuna nykyaikaisia teknisiä ratkaisuja, kuten optisia mittaustaitteita. Mittauksen yksinkertaistaminen taas vähentäisi sekä satunnaisia että systemaattisia virhelähteitä.

Tutkimuksen perusteella jokainen puulaji tulisi mitata erikseen, jotta tilavuuden määrityksen tarkkuus paranisi nykyisestä. Haapa- ja koivukuitupuun erot tulivat tutkimuksessa selvästi esiin, vaikka haapaa oli aineistossa vähän. Haapa näyttäisi olevan pinomittauksen kannalta rinnastettavissa pikemminkin mäntyyn tai kuuseen kuin koivuun. Tässä yhteydessä haavalle ei voida esittää luotettavia pinotiivistekijöitä tai kiintotilavuusmalleja. Haapakuitupuu tulisikin mitata mahdollisuuksien mukaan pölkkytän, mikäli tarkkaa tilavuuden määritystä pidetään tavoitteena.

Kuitupuun silmävaraisen laadunmäärityksen tarkkuus oli tutkimuksen perusteella huono. Sitä tulisikin kehittää oleellisesti, mikäli laatua pidetään hinnoittelutekijänä. Vajalaatuisen puutavaran tilavuuden silmävaraisen arvioimisen sijasta voitaisiin esim. määrittää puutavaranipun vajalaatuisuusluokka, joka perustuisi eri syistä vajalaatuisen puutavaran kenties erilaisin painoin määräämään hylättävän puutavaran osuuteen nipun tilavuudesta. Vajalaatuisuusluokkien keskimääräiset osuudet ja kuitupuun arvoon aiheuttamat alennukset voitaisiin selvittää tarkastusmittauksin tai erillisin tutkimuksin.

Käsillä olevan tutkimuksen aineistossa saavutettiin paras mittaustarkkuus nykyisen kuitupuun kiintomittausmenetelmän (1981) pinotiivistekijöihin perustuvilla kiintotilavuuden vaihtelua selittävillä malleilla. Kun kehystilavuuden mittausrvirhe eliminointiin, selvästi eniten erien tilavuudesta voitiin mitata ± 4 % tarkkuudella luvuissa 3.5.2.3...3.5.2.5 esitetyillä malleilla.

Jos nykyistä kuitupuun kiintomittausmenetelmää (1981) halutaan soveltaa puutavaran mittaukseen ajoneuvokuormassa, pinotiivistekijöiden keskimääräistä kiintotilavuusprosenttia korjaavat vaikutukset olisi määritettävä uudesta aineistosta, jossa pinotiivistekijöiden arviointitarkkuus selvitetäisiin tarkastusmittauksessa. Käsillä olevan tutkimuksen liitteessä 3 esitetty korjattu pinomenetelmä pitkän kuitupuun ajoneuvokuormamittaukseen soveltuu sellaisenaan ainoastaan tämän tutkimuksen aineistoon.

Laaditut tilavuusmallit ovat teoreettisia. Mallien tarkkuudesta ei voida tehdä luotettavia johtopäätöksiä ilman käytännön testausta. Myös talviaineiston lähes täydellinen puuttuminen rajoittaa mallien käyttökelpoisuutta. Käsillä oleva tutkimus osoitti joka tapauksessa kuitupuun pinotiiviyden olevan ajoneuvokuormissa tienvarsipinoja

suuremman ja toi esille korjaustarpeen nykyisin käytettäviin kuitupuun keskimääräisiin kiintotilavuusprosentteihin kuormien mittauksen osalta.

4.4 Jatkotutkimukset

Metsäliitto Osuuskunnassa on tehty sittemmin jatkotutkimus ajoneuvokuormamittauksesta talvella (Nevalainen 1995b), jossa yhdistettiin sekä aiempi kesä- että uusi talviaineisto. Edellä esitetyt, kiintotilavuuteen suoraan tähtäävät mallit soveltuivat siinä huonosti käytäntöön, koska ne eivät huomioineet riittävästi kuormien tilavuuden vaihtelua. Osa- ja vajaanippujen osuus puutavarakuormien mittauksessa on nykyisin huomattava. Jatkotutkimuksissa mallien kehittämisessä onkin lähdetty pinotiiviyyttä selittävästä malleista.

Käsillä oleva tutkimus on ollut perustana Metsäliitto Osuuskunnassa kehitettävälle kehyskuvamittausmenetelmälle, jossa kuitupuukuormien kehystilavuus mitataan AVM-100-mittauslaitteella ja kiintotilavuus saadaan kehystilavuuden ja tilavuusmallin mukaisen kiintotilavuusprosentin tulona. Vuosina 1995 ja 1996 kerättiin Mittaportti Oy:ssä Metsä-Rauma Oy:n sellutehtaalla lisäaineisto, yhteensä 305 ajoneuvokuormanippua eli 4070 m^3 (Nevalainen 1996). Aineisto sisälsi lumetonta ja lumista puutavaraa. Tarkoituksena oli selvittää toteutunut mittaustarkkuus ja laatia pinotiiviyyden vaihtelua selittävät regressiomallit mänty- ja kuusipuulle mitattaessa kehystilavuus AVM-100 mittauslaitteella. Kyseiseen aineistoon eivät käsillä olevassa tutkimuksessa esitetyt mallit suoraan soveltuneet, sillä Mittaportti Oy:ssä mitataan huomattavassa määrin myös osa- ja vajaanippuja.

KIRJALLISUUS

Heiskanen, V. 1972. Pinomittauksen kehittämistutkimus II. Pinomittauksen tarkkuus ja parantamismahdollisuudet. Tutkimusmenetelmä ja -aineisto. Metsäntutkimuslaitos. Metsäteknologian tutkimusosasto. Moniste. 23 s.

- 1973a. Kiintomitan määrittäminen pinosta. Eri menetelmien tarkastelua. Paperi ja Puu 11. 13 s.

- 1973b. Pinotiheysluvun ja pinotiheystekijäin arviointi ja sen tarkkuus. Folia Forestalia 170. 24 s.

- & Koivulehto, P. 1964. Tutkimus 2,2 m ja 4,4 m koivupaperipuun pinotiheydestä ja kuorimishukasta VK 16-kuorimakoneella kuorittaessa. Pienpuualan toimikunnan julkaisu 170. Helsinki. 33 s.

- & Riikonen, J. 1973. Kuitupuun kehysmitta ja pinotiheys autokuljetuksen eri vaiheissa. Folia Forestalia 182. 24 s.

Kuitupuun kiintomittaus. 1981. Mittausneuvoston hyväksymä ohje. 13 s.

Kuitupuun pinomittaus. 1997. Maa- ja metsätalousministeriön 9.6. hyväksymä ohje. 7 s.

Kärkkäinen, M. 1978. Menetelmiä likipituisten kuitupuupölkkyjen keskipituuden mittaamiseksi. Folia Forestalia 336. 17 s.

Leinonen, E. & Rikkinen, P. 1969. Puutavaran kuorma- ja kuormaotantamittaus. Silva Fennica 3(4): 215-225.

Makkonen, O. 1958. Pinotiheystutkimuksia. Metsätehon julkaisu 39. Helsinki. 39 s.

Nevalainen, M. 1995a. Pitkän kuitupuun pinomittaus ajoneuvokuormassa. Metsäteknologian pro gradu -tutkielma MMK-tutkintoa varten. Helsingin yliopisto, metsävarojen käytön laitos. 75 s. + liitteet 15 s.

- 1995b. Pitkän kuitupuun ajoneuvokuormamittauksen jatkotutkimus. Kesä- ja talviaineisto. Metsäntutkimuslaitos, metsänkasvatuksen tutkimusosasto. Moniste 15.5. 20 s.

- 1996. Havukuitupuun ajoneuvokuormamittaus kehyskuvamenetelmällä. Metsäliitto Osuuskunta / Mittaportti Oy. Moniste. 15 s.

Nikkilä, H., Rikkinen, P. & Heiskanen, V. 1974. Suomalaisen kuitupuun pinotiheys ja siihen vaikuttavat tekijät. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 82(1):1-93.

Oijala, T. & Terävä, J. 1994. Puutavaran tehdasvastaanoton menetelmät. Metsätehon katsaus 1. 8 s.

Pertovaara, H. 1960. Pitkän pinotavaran pinotiheysmittauksia Pohjois-Suomessa. Uittoteho ry:n tiedotuksia 183. Rovaniemi. 28 s.

- 1964. Tasapituaisen paperipuun pinotiheys- ja kuutiointimittauksia Pohjois-Suomessa. Uittoteho ry:n tiedotuksia 209. Rovaniemi. 59 s.

Puutavarapölkkyjen mittauss. 1992. Maa- ja metsätalousministeriön 30.3. hyväksymä ohje. 6 s.

Sairanen, P. 1984. Kuitupuukuorman mittauss rautatiekuljetuksessa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 136. 22 s.

- 1987. Pitkän kuitupuun pinomittaustutkimus. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 250: 86-113.

- 1989a. Pitkän kuitupuun pinomittaustutkimus. Ennakkotietoja. Metsäntutkimuslaitos. Moniste. 46 s.

- 1989b. Lyhyt yhteenveto pitkän kuitupuun pinomittaustutkimuksesta. Koko maan aineisto. Metsäntutkimuslaitos. Moniste. 5 s.

- 1995. Pitkän kuitupuun pinomittaus tienvarsivarastoissa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 558: 24-53.

Voipio, V. & Korpilahti, A. 1988. Puutavaran tienvarsivarastojen ominaisuuksia. Metsätehon tiedotus 400. 16 s.

Yhteensä 24 kpl

LIITTEET

LIITE 1. Lumisuus- ja kuitulajiluokitus.

Lumisuus:

Luokka 1. Lumeton

- sulan ajan lumettomat ja jäättömät niput

Luokka 2. Luminen

- niput, jotka vastaavat lumisuudeltaan ja jäisyydeltään normaalia talvinippua.

Luokka 3. Runsasluminen

- niput, joiden sisällä poikkeavan paljon lunta/lumipaakkuja tai jäätä. Nipun välissä olevat selvät lumikerrokset huomioidaan jo nipun korkeutta mitattaessa.

Kuitulaji:

Luokka 1. Runkokuitu (esim. ensiharvennus tai toinen harvennus)

- nipusta yli puolet runkokuitua

Luokka 2. Latvakuitu (esim. myöhäiset harvennukset ja päätehakuut)

- nipusta yli puolet latvakuitua

Luokka 3. Tukit

- nippu koostuu tukeista/tyveysistä

LIITE 2. Tiiviysluokitus havu- ja lehtipuullaHavupuut:

Luokka 1. Tiivis

- ei oksantynkiä tai kyhmyjä, suorat pölköt ovat tiiviisti lomittain.

Luokka 2. Keskinertainen

- pölkkyjen välissä on ladonnasta, mutkaisuudesta, oksantyngistä tai kyhmyistä aiheutuneita rakoja.

Luokka 3. Harva

- pölkkyjen välissä on ladonnasta, mutkaisuudesta, oksantyngistä tai kyhmyistä aiheutuneita isoja rakoja.

Luokka 4. Erittäin harva

- pölkkyjen välissä on ladonnasta, mutkaisuudesta, oksantyngistä tai kyhmyistä aiheutuneita isoja aukkoja.

Lehtipuut:

Luokka 1. Tiivis

- ei oksantynkiä tai kyhmyjä, suorat pölköt ovat tiiviisti lomittain.

Luokka 2. Melko tiivis

- pölkkyjen välissä on ladonnasta, mutkaisuudesta, oksantyngistä tai kyhmyistä aiheutuneita rakoja.

Luokka 3. Keskinertainen

- pölkkyjen välissä on ladonnasta, mutkaisuudesta, oksantyngistä tai kyhmyistä aiheutuneita isoja rakoja.

Luokka 4. Harva

- pölkkyjen välissä on ladonnasta, mutkaisuudesta, oksantyngistä tai kyhmyistä aiheutuneita isoja aukkoja.

Luokka 5. Erittäin harva

- pölkkyjen välissä on ladonnasta, mutkaisuudesta, oksantyngistä tai kyhmyistä aiheutuneita erittäin isoja aukkoja.

LIITE 3. Pinomittausmenetelmä pitkän eli yli 3,5 metrin kuitupuun ajoneuvokuormien mittaukseen. Vertailukohtana nykyinen tienvarsipinojen mittausmenetelmä.

Puutavaran pituus	Keskimääräinen kiintotilavuusprosentti			
	Havupuu		Lehtipuu	
	Pinossa	Ajoneuvossa	Pinossa	Ajoneuvossa
3,6...4,5 m	61	65	52	53
4,5...5,5 m	60	62	50	53
yli 5,5 m	59	60	49	52

Pinotiiviystekijöiden luokat	Vaikutus kiintotilavuusprosenttiin %-yksikköä			
	Havupuu		Lehtipuu	
	Pinossa	Ajoneuvossa	Pinossa	Ajoneuvossa
1. Keskiläpimitta, cm Tasaava 2 cm:n luokitus				
9 ja alle	-3	-2	-3	-3
11	0	-1	0	-1
13	2	1	2	1
15	3	3	4	3
17	4	5	6	5
19	4	6	7	7
21	5	8	8	8
23	5	10	8	10
25 ja yli	6	11	9	12
2. Karsinta ja oksaisuus				
1	2	2	1	3
2	0	0	0	0
3	-2	-3	-1	-3
4	-4	-5	-2	-6
3. Mutkaisuus				
1	1	1	2	4
2	0	0	0	0
3	-1	-1	-2	-4
4	-2	-1	-4	-8
5			-6	-12
4. Ladonta				
1	2	2	1	2
2	0	0	0	0
3	-2	-2	-1	-1
4	-4	-5	-3	-3

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN TIEDONANTOJA 653, 1997

ISBN 951-40-1581-9

ISSN 0358-4283