

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Metsätalouden koulutusohjelma

Henry Imponen

HAKKUUKONEEN JA TUKKIMITTARIN TARKASTUSMITTAUS-
MENETELMIEN VERTAILU MÄNNYN TYVIPÖLKKYJEN TILA-
VUUDEN MÄÄRITYKSESSÄ

Opinnäytetyö
Elokuu 2015



OPINNÄYTETYÖ
Elokuu 2015
Metsätalouden koulutusohjelma

Karjalankatu 3
80200 JOENSUU
013 260 600

Tekijä
Henry Imponen

Nimeke
Hakkuukoneen ja tukkimittarin tarkastusmittausmenetelmien vertailu männyn tyvipölkkyjen tilavuuden määrittämisessä

Toimeksiantaja
Luonnonvarakeskus Joensuu

Tiivistelmä

Hakkuukonemittaus on yleisimmin käytetty puutavaran luovutusmittausmenetelmä. Käytännön mittaustoiminnassa on saatu viitteitä, että hakkuukonemittauksella saataisiin tehdasmittauksista suurempia tilavuuksia etenkin männyn tyvipölkkyillä. Syyksi on epäilty hakkuukoneissa tyviosien tilavuuden laskentaan käytettävää tyvipölkkyfunktiota.

Tässä opinnäytetyössä vertailtiin männyn tyvipölkkyjen tyviosien tilavuuksia toisiinsa hakkuukoneen ja tukkimittarin tarkastusmittausmenetelmillä. Tutkimusta varten hankittiin maanlaajuisesti kuuden tehtaan puunhankinta-alueilta yhteensä 793 koetyvipölkkyä 32 leimikolta. Koko aineistossa hakkuukoneen tarkastusmittausmenetelmä antoi tyvipölkkyjen tyviosille (100 senttimetrin etäisyys kaatoileikkauksesta) keskimäärin 5,4 % suuremman tilavuuden kuin tukkimittarin tarkastusmittausmenetelmä. Kokonaisilla tyvipölkkyillä ja kolme metriä pitkillä tyvipölkkyillä suhteelliset tilavuuserot olivat vastaavasti 1,5 % ja 2,1 %. Tilavuuserot vaihtelivat suuresti sekä hankinta-alueiden että leimikoiden välillä.

Opinnäytetyön tulokset vahvistavat epäilyjä, että mäntytukkien hakkuukonemittauksen ja tehdasmittauksen tuloksissa on eroa tyviosien tilavuuksissa. Koska tarkastusmittauksen tuloksia käytetään mittauslaitteiden kalibrointiin, siirtyy tarkastusmittauksessa oleva tilavuusero myös perusmittaukseen. Tyvipölkkyfunktion systemaattisen virheen selvittäminen ja korjaustarpeen määrittäminen vaatii upotusmittausten tekemistä.

Kieli

Sivuja 46

suomi

Liitteet 1

Asiasanat

tarkastusmittaus, tilavuusero, tyvipölkkyfunktio, tyvipölkky



THESIS
August 2015
Degree Programme in Forestry
Karjalankatu 3
FI 80200 JOENSUU
FINLAND
Tel. +358 13 260 600

Author
Henry Imponen

Title
Comparison Between Volume of Pine Butt Logs Measured With Verifying Measurements of Harvester and Sawmill Measuring

Commissioned by
Natural Resources Institute Finland

Abstract

Harvester measuring is a method used in most cases of inspection and measurement on delivery in Finland. In operative measuring there are suggestions that harvester measurements lead to greater volumes of pine butt logs compared to sawmill measurements. This has been thought to result from butt profile function that is used to determine the volume of butt end section of butt log in harvester measurement.

The aim of this thesis was to compare the volumes of butt end sections of pine butt logs determined by verifying measurements of harvester and sawmill measuring. Material was based on 793 butt logs that were harvested from 32 stands from the zones of supply of 6 mills in separate parts of Finland. As a result verifying measurement of harvester measuring gave for butt end section (100 cm from felling cut) 5.4 % greater volume in average compared to verifying measurement of sawmill measuring. For whole butt log and 3 meters long butt log verifying measurement of harvester measuring gave 1.5 % and 2.1 % greater volumes in average, respectively. However, there was strong variation in differences of volumes of two measuring methods between both the stands and the zones of supply.

The results of this study confirm the suggestions that there is a difference between harvester and sawmill measurings as the volumes of pine butt logs are considered. This difference of volumes exists also in operative measurings because results of verifying measurements are used in calibration of measuring instruments. Xylometric measurements are needed to determine the systematic error caused by butt profile function.

Language

Pages 46

Finnish

Appendices 1

Keywords

butt log, butt profile function, difference in volume, verifying measurement

Sisältö

1	Johdanto	5
2	Puutavaranmittaus	6
2.1	Hakkuukonemittaus	8
2.1.1	Pölkyn tilavuuden määrittäminen	8
2.1.2	Tyviprofilifunktiot	10
2.1.3	Hakkuukoneen tarkastusmittaus	12
2.2	Tehdasmittaus	15
2.2.1	Tukin mittaus	16
2.2.2	Tukkimitarin tarkastusmittaus	18
3	Opinnäytetyön tarkoitus	19
4	Menetelmät ja aineisto	19
4.1	Tutkimusmenetelmän valinta	19
4.2	Aineiston hankinta	20
4.2.1	Koemetsiköiden valinta	20
4.2.2	Koepuiden valinta	22
4.2.3	Koetyvipölkkyjen korjuu ja mittaukset tehtaalla	23
4.3	Aineiston käsittely	24
5	Tulokset	25
5.1	Aineiston tilastolliset tunnuksot	25
5.2	Hankinta-alueiden ja leimikoiden väliset vaihtelut	26
5.3	Tyvipölkkyjen läpimitan vaikutus tilavuuseroihin	29
5.4	Tyviprofilifunktion ja manuaalisen mittauksen läpimittaero	31
5.5	Kannonkorkeus ja sen vaikutus tilavuuseroon	34
5.6	Hakkuutavan vaikutus tilavuuseroon	35
5.7	Maaperän vaikutus tilavuuseroon	36
5.8	Kivennäismaan kasvupaikan vaikutus tilavuuseroon	37
5.9	Tulosten tarkastelu	38
6	Pohdinta	43
	Lähteet	46

1 Johdanto

Hakkuukonemittaus on käytetyin puutavaran luovutusmittausmenetelmä markkinahakkuissa. Vuonna 2013 sen osuus kaikista markkinahakkuista oli 75,5 % (Melkas 2014, 8). Yksityismetsien pystykaupoissa hakattiin puuta 37,7 miljoonaa kuutiometriä, josta mäntytukkia oli 6,8 miljoonaa kuutiometriä (Metsäntutkimuslaitos 2014, 177). Metsäteho Oy:n tilastoinnin mukaan lähes kaikissa yksityismetsien pystykaupoissa luovutusmittausmenetelmänä käytettiin hakkuukonemittausta. Sen osuus oli 96,7 %, kun tehdasmittauksen osuus oli ainoastaan 2,4 %. (Melkas 2014, 3.)

Metsäteollisuusyhtiöiden ja valtion metsissä teollisuuspuun hakkuut vuonna 2013 olivat 11,4 miljoonaa kuutiometriä, josta mäntytukkia oli 2,2 miljoonaa kuutiometriä (Metsäntutkimuslaitos 2014, 177). Metsäteollisuusyhtiöiden ja valtion metsien korjuussa hakkuukonemittausta käytettiin 47,2 %:ssa ja tehdasmittausta 52,6 %:ssa hakkuista luovutusmittausmenetelmänä. Hakkuukonemittauksen osuus työmittausmenetelmänä Metsähallituksen ja yhtiöiden omien metsien korjuussa oli 99,2 %. (Melkas 2014, 3–7.)

Käytännön mittaustoiminnassa on havaittu, että hakkuukoneella ja tukkimittarilla mitattujen mäntytukkien tilavuuksien välillä on eroa, kun samoja puutavaraeriä on mitattu molemmilla menetelmillä (Lindblad, Antikainen & Wall 2014, 5). Mikkelin ammattikorkeakoulussa julkaistussa opinnäytetyössä (Minkkinen 2013) oli vertailtu yhden sahan tukkimittarin mittaustuloksia 25 koe-erän hakkuukonemittauksiin. Yhdessä koeerässä oli keskimäärin 214 tukkia ja pikkutukkia, joita ei ollut eroteltu tyvi-, väli- ja latvapölkkyihin. Vertailussa hakkuukonemittauksella oli saatu keskimäärin 1,2 % suurempi tilavuus kuin tukkimittarilla.

Syyksi mittausmenetelmien väliselle tilavuserolle on epäilty hakkuukonemittauksessa ja sen tarkastusmittauksessa tyvitukin tyviosan tilavuuden määrittämiseen käytettäviä tyvi-profiilifunktioita, jotka aiheuttaisivat systemaattista mittauseroa etenkin männyllä. Metsäntutkimuslaitoksessa tehtiin vuonna 2013 alustava tutkimus, jossa oli valittu 113 koepuuta kolmelta Joensuun ympäristössä sijainneelta leimikolta. Tämän tutkimuksen perusteella tyvi-profiilifunktio antaa keskimäärin 8,0 % suuremman tilavuuden männyn tyviosalle (0–100 cm) kuin upotusmittaus ja 6,6 % suuremman tilavuuden kuin tukkimittarin tarkastusmittausmenetelmä. Kun mittauserot kohdistettiin kokonaisille pölkyille, saatiin hakkuukoneen tarkastusmittauksen ja upotusmittauksen väliseksi eroksi 2,1 %

ja hakkuukoneen ja tukkimittarin tarkastusmittauksen väliseksi eroiksi 1,7 %. (Lindblad ym. 2014, 12.)

Puutavaran mittauksesta annetun lain (414/2013) mukaan puutavaranmittauksen kehittämisestä vastaa Luonnonvarakeskus (31.12.2014 asti Metsäntutkimuslaitos). Metsäntutkimuslaitos aloitti vuonna 2014 tutkimushankkeen, jonka tarkoituksena on tarkastaa ja tarvittaessa korjata männyn tyviprofiilifunktiota maantieteellisesti kattavan tutkimusaineiston perusteella. Tämä opinnäytetyö toteutettiin Luonnonvarakeskuksen toimeksiannosta osana kyseistä hanketta. Opinnäytetyön tarkoituksena oli vertailla hakkuukoneen ja tukkimittarin tarkastusmittausmenetelmillä määritettyjä tilavuuksia männyn tyvipölkyillä.

2 Puutavaranmittaus

Puutavaran mittauksella tarkoitetaan jalostamattoman puutavaran määrän, jakoperusteen ja laadun mittaamista kauppahinnan määrittämiseksi (luovutusmittaus), tehdyn työn määrään perustuvan palkan määrittämiseksi (työmittaus) tai urakointimaksujen tai muun korvauksen määrittämiseksi (urakointimittaus). Jalostamattomalla puutavaralla tarkoitetaan pyöreän puutavaran lisäksi myös haketta ja sahanpurua. (Laki puutavaran mittauksesta 414/2013.)

Tavallisesti puutavaran määrää kuvataan sen kuorellisella tai kuorettomalla tilavuudella (kiintokuutiometri, m^3 , tai irtokuutiometri, $i-m^3$) tai massalla (kg, tn). Puuraaka-aineen laatu kuvaa sen soveltuvuutta tiettyyn käyttötarkoitukseen. Laatu voidaan määritellä puulajin, dimension eli koon sekä tiettyjen käyttökohteessa merkityksellisten laatuominaisuuksien perusteella. Pyöreän puutavaran dimensiota kuvataan muun muassa läpimitalla ja pituudella. (Sipi 2009, 12.)

Laki puutavaran mittauksesta (414/2013) määrittelee puutavaran mittauksessa käytettävät mittausmenetelmäryhmät sekä niihin kuuluvien mittausmenetelmien ja -laitteiden vaatimukset. Tarkemmin mittausmenetelmäryhmistä ja niihin sisältyvistä mittaus- ja laskentamenetelmistä, niiden käyttöalueesta, sisällöstä ja menetelmiin sisältyvästä laskennasta sekä mittauslaitteiden ominaisuuksista säädetään maa- ja metsätalousministeriön vuonna 2013 säädetyllä asetuksella.

Mittauksen tarkkuuden on oltava tarkoituksenmukainen ja riittävä. Tämä katsotaan toteutuneeksi, kun mittaustuloksen poikkeama vertailuarvoon nähden ei ylitä mittaustulokseen sallittua suurinta poikkeamaa, toisin sanoen tarkkuusvaatimusta. Suurimman sallitun poikkeaman määrittämisestä sekä mittausten menetelmien suurimman sallitun poikkeaman lukuarvoista säädetään maa- ja metsätalousministeriön asetuksella. Suurimman sallitun poikkeaman määrään vaikuttavat eräkokoa, mittausten menetelmäryhmä, mittausmenetelmä ja puutavaralaji. (Laki puutavaran mittauksesta 414/2013.)

Mittauksessa ei saa myöskään olla merkittävää systemaattista virhettä, joka pysyy mitausta toistettaessa samansuuntaisena (Laki puutavaran mittauksesta 414/2013). Kun mittauksesta saadaan yhtä suurella todennäköisyydellä suurempia tai pienempiä arvoja kuin tarkastuserien mittauksella, ei mittauksessa ole merkittävää systemaattista virhettä. Systemaattinen virhe voidaan tunnistaa tilastomaatemaattisten menetelmien avulla. (Maa- ja metsätalousministeriö 2013, 10.)

Laki puutavaran mittauksesta (414/2013) määrää, että mitaajan on varmistettava mittauksen luotettavuus omavalvonnalla ja ulkopuolisella valvonnalla sekä näihin kuuluvilla mittaustuloksen tarkastuksilla. Omavalvonnassa mittauslaitteen tuottamaa mittaustulosta ja perusmittauksen tarkkuustasoa tulee seurata säännöllisesti otantaan perustuvalla tarkastuserien mittauksella (jatkossa tarkastusmittaus). Tarkastusmittauksella voidaan todentaa, että mittaustulokset ovat mittausmenetelmälle asetetun suurimman sallitun poikkeaman rajoissa, eikä mittauksessa ole systemaattista virhettä. Mittauslaitteen kalibrointitarve määritetään perusmittauksen ja tarkastusmittauksen tuloksia vertailemalla. Mittauslaitteen kalibroinnilla varmistetaan mittaustuloksen oikeellisuus ja tarvittaessa viritetään mittauslaite tuottamaan todenmukaista mittaustulosta, joka ei sisällä merkittävää systemaattista virhettä. (Maa- ja metsätalousministeriö 2013, 10–11.)

Omavalvonnassa ja ulkopuolisessa valvonnassa tarkastuserien mittaukseen käytettävän mittausmenetelmän on oltava tarkkuudeltaan parempi tai vähintään vastaava kuin perusmittauksessa käytetty menetelmä. Kun mitataan todellista kuorellista tilavuutta eli kiintotilavuutta, ei tarkastusmittauksessa käytettävä menetelmä saa sisältää merkittävää systemaattista virhettä verrattuna teoreettiseen tilanteeseen, jossa tarkastuserien tilavuus mitattaisiin upotusmittauksella. Tarkastuserien mittaus voidaan tehdä manuaalisena puutavarakappaleiden mittauksena, automaattisilla mittauslaitteilla, upotusmittauksena

tai muulla mittaussuomenetelmällä tai -laitteella, joka täyttää mittaussuomenetelmälle edellä esitetyt vaatimukset. (Maa- ja metsätalousministeriö 2013, 11.)

2.1 Hakkuukonemittaus

Hakkuukonemittauksella tarkoitetaan hakkuukoneella valmistettavan puutavaran tilavuuden ja kappalemäärien mittaamista koneen mittaussuomenetelmällä valmistuksen yhteydessä. Hakkuukoneen mittaussuomenetelmä seuraa ja rekisteröi jatkuvatoimisesti rungon läpimittaa ja syötettyä pituutta käsittelyn aikana. Rungon ja siitä valmistettujen puutavarakappaleiden tilavuudet määritetään mittaussuomenetelmältä saatujen läpimitta- ja pituustietojen perusteella. Tilavuus on hakkuukonemittauksessa aina johdettu tunnus, ei suora mittaustulos. (Kivinen 2009, 112–113.)

Pituus mitataan yleensä kaikissa mittaussuomenetelmissä samalla tavalla. Hakkuupäässä oleva hammastettu metallinen mittapyörä tai -rulla seuraa käsiteltävän rungon liikettä. Mittapyörän tai -rullan pyörivä liike johdetaan pulssianturin kautta hakkuukoneen tietokoneelle, jossa pulssianturin lähettämä informaatio muutetaan numeeriseksi pituudeksi kertomalla pulssien kokonaismäärä yhtä pulssia vastaavalla pituudella. (Kivinen 2009, 113–114.) Pituuden mittauksen erotustarkkuuden tulee olla yksi senttimetri tai pienempi (Maa- ja metsätalousministeriö 2013, 3).

Rungon läpimitta mitataan joko yhden tai kahden karsintaterän tai syöttörullien asennon tunnistamisen perusteella. Karsintaterät tai syöttörullat ovat yhteydessä kulmapotentimetriin. Jokaista karsintaterien tai syöttörullien kulma-arvoa vastaa tietty jännitearvo potentiometrillä. Tämä jännitearvo voidaan mitata ja muuttaa hakkuukoneen tietokoneella läpimitaksi. (Kivinen 2009, 114.) Läpimitan mittauksen erotustarkkuuden on oltava yksi millimetri tai pienempi (Maa- ja metsätalousministeriö 2013, 3).

2.1.1 Pölkyn tilavuuden määrittäminen

Hakkuukonemittauksessa puutavarapölkyn tilavuus määritetään läpimitan ja pituuden mittaustietojen perusteella pätkittäin ympyrälieriön tai katkaistun ympyräkartiön tilavuutena (Maa- ja metsätalousministeriö 2013, 3). Menetelmää kutsutaan myös osatilavuuksien summamenetelmäksi. Läpimittojen ja pituuden mittaustiedoista muodostetaan runkokäyrä, jolta läpimitta-arvot luetaan. (Kivinen 2009, 115–116.) Poikkeuksena on

tyvipölkkyt, joissa ensimmäinen läpimitan mittaus hakkuukoneen mittauslaitteella tehdään 1,3 metrin etäisyydellä kaatosahauksesta (Maa- ja metsätalousministeriö 2013, 3). Tyviosan läpimitat tätä ennen määritetään laskennallisesti jäljempänä esitettävällä tavalla (Metsäntutkimuslaitos 2013).

Puun pinnan epätasaisuuksien ja mittausvirheiden vuoksi hakkuukoneet eivät muodosta runkokäyrää suoraan mitatuista läpimita-arvoista. Mitatut läpimitat esikäsitellään ennen runkokäyrän muodostamista. Menetelmää kutsutaan runkokäyrän suodatukseksi. Suodatuksen pääperiaate on, että läpimita-arvo hyväksytään vain, jos se on yhtä suuri tai pienempi kuin edeltävä läpimita-arvo. Suodatukselle ei ole yhteisesti sovittua standardia, vaan menetelmät vaihtelevat valmistajittain. (Kivinen 2009, 116.)

Läpimitat luetaan runkokäyrältä 1–10 senttimetrin välein ja kunkin pätjän tilavuus määritetään katkaistun ympyräkartioiden tai ympyrälieriön kaavalla:

$$V = \pi r^2 h \quad (1),$$

jossa V = lieriön tilavuus
 r = ympyrän säde
 h = lieriön korkeus

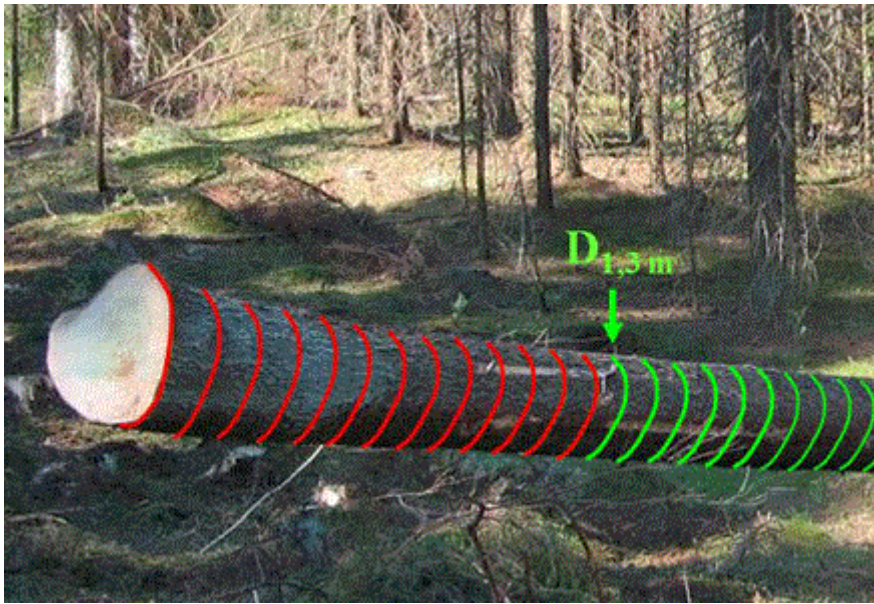
Pätkien tilavuudet summataan, jolloin saadaan kokonaisen pölkyn tilavuus. (Metsäteho 2013.) Sijoittamalla kaavaan 1 säteen tilalle läpimita saadaan pölkyn tilavuuden kaavaksi:

$$V = \sum_{i=1}^n \frac{\pi}{4} d_i^2 h_i \quad (2),$$

jossa V = pölkyn tilavuus
 d_i = pölkynosa i :n läpimita
 h_i = pölkynosa i :n pituus
 $i = 1, 2, \dots, n$.

Hakkuukonemittauksessa tyvipölkyn tyviosan läpimittojen määrittäminen tapahtuu laskennallisesti. Tyviosalla tarkoitetaan kaatoleikkauksesta mitattua 1,3 metriä pitkää rungonosaa (kuva 1). Tyviosan läpimitat lasketaan puulajikohtaisia tyviprofilifunktioita tai niitä vastaavia taulukoita (liite 1) soveltaen. Näitä läpimittoja käytetään tyviosan tila-

vuuden määrittämiseen samalla periaatteella kuin muun rungonosan kohdalla. (Metsäntutkimuslaitos 2013.)



Kuva 1. Tyviosan läpimitat määritetään laskennallisesti 1,3 metrin etäisyydeltä kaato-leikkauksesta mitatun läpimitan perusteella (Metsäteho 2013).

Tyviosan läpimitat määritetään laskennallisesti, koska rungon läpimittaa mittaavaan anturiin yhteydessä olevat syöttörullat tai karsintaterät eivät ylety rungon tyvelle kaadon aikana. Monissa hakkuukoneissa läpimitan mittaus tapahtuu yläkarsintateristä, jotka voivat hakkuulaitteen koon mukaan sijaita yli metrin etäisyydellä kaatosahauksesta puuta kaadettaessa. (Kivinen 2009, 115.)

2.1.2 Tyviprofiilifunktiot

Vuonna 2003 Metsäntutkimuslaitos määrittäi puulajikohtaiset runkokäyrät, jotka perustuivat Valtakunnan metsien inventoinnin (VMI) koepuiden mittaustietoihin ja Laasasenahon (1982) runkokäyrämalleihin. Runkokäyrien perusteella tuotettiin kuusi vaihtoehtoista tyviprofiilitaulukkoa, jotka erosivat toisistaan oletetun kannonkorkeuden suhteen. Metsäteho Oy teki vertailun, jossa erillistä kenttäkoeaineistoa verrattiin tyviprofiilitaulukoihin. Vertailun perusteella Metsäteho Oy:ssä valittiin parhaiten kenttäkoeaineiston koetyvipölkkyjen muotoa vastannut tyviprofiilitaulukko, ja sen pohjalta laadittiin tyviprofiilifunktio. (Lindblad ym. 2014, 5.)

Tyviprofiilifunktioiden käyttöönotto tapahtui maa- ja metsätalousministeriön asetuksella vuonna 2006. Tätä aiemmin runkojen tyviosan mittaukseen ja tilavuuden määrittämiseen käytettiin laitevalmistajakohtaisia menetelmiä, jotka tyviprofiilifunktiolla saatiin yhtenäistettyä. Tyviprofiilifunktiot annettiin Metsäntutkimuslaitoksen määräyksellä vuonna 2013, kun laki puutavaran mittauksesta (414/2013) uudistettiin. (Lindblad ym. 2014, 5.)

Hakkuukonemittauksessa tyvipölkyn tyviosan läpimittojen määrittämiseen käytettävä tyviprofiilifunktio on muotoa:

$$D_L = [1 + (a_0 \times (1,3 - L) + a_1 \times (1,3 - L)^2)/100] \times D_{1,3} \quad (3),$$

jossa D_L = läpimitta etäisyydellä L kaatosahauksesta, cm

a_0, a_1, a_2 = puulajikohtaiset parametrit, joiden arvot määritetään kaavoilla 4–6

L = etäisyys kaatoleikkauksesta, m

$D_{1,3}$ = läpimitta 1,3 metrin etäisyydellä kaatoleikkauksesta, cm. (Metsäntutkimuslaitos 2013.)

Tyvifunktion parametrien (a_0, a_1, a_2) arvot määritetään puulajikohtaisilla kaavoilla, joissa selittävänä tunnuksena on puun läpimitta 1,3 metrin etäisyydellä kaatoleikkauksesta ($D_{1,3}$). Parametrien kaavat ovat muotoa:

$$a_0 = a_{00} + a_{01} \times D_{1,3} + a_{02} \times D_{1,3}^2 + a_{03} \times D_{1,3}^3 + a_{04} \times D_{1,3}^4 \quad (4)$$

$$a_1 = a_{10} + a_{11} \times D_{1,3} + a_{12} \times D_{1,3}^2 + a_{13} \times D_{1,3}^3 \quad (5)$$

$$a_2 = a_{20} + a_{21} \times D_{1,3} + a_{22} \times D_{1,3}^2 \quad (6),$$

jossa $D_{1,3}$ = läpimitta 1,3 metrin etäisyydellä kaatoleikkauksesta, cm (yli 45 cm paksut puut saavat arvon 45 cm kaavoissa 4–6)

a_{00}, \dots, a_{22} = puulajikohtaiset parametrit, joiden arvot ovat taulukossa 1. (Metsäntutkimuslaitos 2013.)

Taulukko 1. Puulajikohtaiset parametrien arvot kaavoille 4–6 (Metsäntutkimuslaitos 2013).

	a_{00}	a_{01}	a_{02}	a_{03}	a_{04}
Mänty	24,30	-1,324	0,039372	-0,0003850	0
Kuusi	30,46	-3,399	0,181337	-0,0043459	0,00003908
Koivu	27,04	-2,004	0,066531	-0,0007020	0
	a_{10}	a_{11}	a_{12}	a_{13}	
Mänty	1,00	0,381	-0,006291	0	
Kuusi	-0,35	0,143	0,016430	-0,0003800	
Koivu	0,41	0,440	-0,006870	0	
	a_{20}	a_{21}	a_{22}		
Mänty	7,70	-0,233	0,003056		
Kuusi	12,65	-0,556	0,008019		
Koivu	8,85	-0,300	0,004027		

2.1.3 Hakkuukoneen tarkastusmittaus

Hakkuukoneen kuljettajan on seurattava säännöllisin väliajoin mittauslaitteen toimivuutta. Maa- ja metsätalousministeriön asetuksessa 12/13 (2013, 10) määritellään seurannan minimitaso. Seurannassa otantarunkoja valitaan satunnaisesti käyttöviikoittain keskimäärin yksi runko kahta käyttöpäivää kohti. Rungosta katkotuista puutavarakappaleista mitataan pituudet ja läpimitat, joita verrataan hakkuukoneen mittauslaitteen mitaamiin mittoihin. Mikäli otantarunkojen mittaustuloksissa havaitaan poikkeama, tulee mitata riittävän suuri tarkastuserä luotettavan kalibroinnin tekemiseksi. Tarvittaessa mittauslaite viritetään tuottamaan oikea mittaustulos. Tätä omavalvontaa kutsutaan tavallisesti kalibrointimittaukseksi (Kivinen 2009, 123).

Ulkopuoliseen valvontaan kuuluva tarkastusmittaus tehdään mittaamalla tarkastuserä. Tarkastusmittaus on tehtävä vähintään puolivuositain ja aina, jos joku mittausosapuolista sitä vaatii. (Maa- ja metsätalousministeriö 2013, 11.) Tarkastusmittaus kohdistuu kaikkiin niihin hakkuukoneisiin, joiden mittaustulosta käytetään työ- tai luovutusmittana. Puolivuositaisessa tarkastuksessa tarkastettava työmaa valitaan satunnaisesti, eikä koneen kuljettajaa informoida tarkastuksesta etukäteen. Tarkastusmittauksen suorittaa useimmiten puunostajan edustaja eli puunhankinnan toimihenkilö. (Kivinen 2009, 124.)

Tarkastusmittaus suoritetaan otantamittauksena. Tarkastuserien otoskoko on määritettävä siten, että saavutetaan riittävä otannan tilastollinen luotettavuus. Tarkastuserän otoksen vähimmäiskoko voidaan määrittää kaavalla:

$$n = \left(\frac{k s_{\%}}{p} \right)^2 \quad (7),$$

jossa n = tarkastuserän otoskoko, mitattavien pölkkyjen kappalemäärä
 k = kattavuuskerroin ($k = 2$, kun luotettavuustaso on 95 %)
 $s_{\%}$ = perusmittauksen ja tarkastusmittauksen mittaustulosten eron keskihajonta mitattavien pölkkyjen välillä, % (variaatiokerroin)
 p = tilastollinen mittausepävarmuus, %

Tarkastuserän mittaustuloksen tilastollinen mittausepävarmuus (p) on kappaleittain mittauksen perustuvissa menetelmissä korkeintaan yksi prosentti, kun $k = 2$, jolloin luotettavuustaso on 95 %. (Maa- ja metsätalousministeriö 2013, 13.) Sijoittamalla nämä arvot kaavaan 7 voidaan vähimmäisotoskoko määrittää kaavalla:

$$n = 4 \times s_{\%}^2 \quad (8)$$

Hajonnan laskemiseksi on mitattava vähintään viisi runkoa kustakin puutavaralajista. Aikaisemman lainsäädännön mukaisesti tarkastuserän otokseen tuli valita vähintään 30 pölkkyä pääpuulajista ja vähintään 10 pölkkyä jokaisesta puutavaralajista. (Kivinen 2009, 124.) Tätä käytäntöä edelleen noudattamalla saadaan riittävä otoskoko tarkastuserän mittauksessa (Metsäteho 2013).

Ennen 1.5.2007 käyttöönotetulla hakkuukoneella tarkastuserän otanta määritetään maa- ja metsätalousministeriön määräyksen 100/99 mukaisesti vuoden 2016 loppuun saakka (Maa- ja metsätalousministeriö 2013, 12). Tällaisella hakkuukoneella hakatuiden leimikoiden lukumäärästä tarkastetaan vähintään 5 %. Tarkastusmittaus tulee kuitenkin tehdä kaikilla yli 3000 m³:n leimikoilla. Tarkastuksessa on mitattava vähintään 40 pölkkyä pääpuulajista ja vähintään 15 pölkkyä kustakin puutavaralajista. Tarkastuserän koko voidaan myös laskea kaavalla:

$$n = 3,84 \times \frac{s^2}{D^2} \quad (9),$$

jossa n = tarkastuserän otoskoko, mitattavien pölkkyjen kappalemäärä
 S = pölkkyittäin laskettujen suhteellisten mittaerojen keskihajonta (sama kuin variaatiokerroin kaavoissa 7 ja 8)
 D = luottamusvälin leveys. (Maa- ja metsätalousministeriö 1999, 3–4.)

Luottamusvälin leveydellä tarkoitetaan sallittua otannasta aiheutuvaa virhettä (sama kuin tilastollinen mittaausepävarmuus p kaavassa 7). Luottamusvälin leveytenä käytetään pituuden ja läpimitan mittauksessa 1,5 % ja tilavuuden mittauksessa 1 %. Hajonnan laskemiseksi on mitattava vähintään viisi pölkkyä jokaisesta tarkastettavasta puutavaralajista. (Maa- ja metsätalousministeriö 1999, 3–4.)

Maa- ja metsätalousministeriön asetus 12/13 määrää (2013, 11–12), että mikäli hakkuukoneen tarkastuserien mittaus tehdään manuaalisena puutavarakappaleiden mittauksena, käytetään tarkastuserin mittauksessa manuaalista pätkittäin mittausta. Mittauksessa läpimita on mitattava kahdesta eri suunnasta ristimitoituksena yhden millimetrin tarkkuudella. Läpimittojen mittaussväli on korkeintaan yksi metri, lukuun ottamatta tyvipölkkyä, josta ensimmäinen läpimita mitataan 1,3 metrin päästä kaatoleikkauksesta. Pölkyn pituus mitataan yhden senttimetrin tarkkuudella. (Maa- ja metsätalousministeriö 2013, 3.) Tyvipölkyn tyviosan läpimitat kaatoleikkauksesta 1,0 metrin etäisyydelle ulottuvalle rungonosalle lasketaan tyviprofiilifunktiolla kuten hakkuukonemittauksessa (Metsäntutkimuslaitos 2013).

Tarkastusmittauksessa pölkyn tilavuus määritetään yhden metrin pituisten pölkynosien tilavuuksien summana. Muilla kuin tyvipölkkyillä pölkynosien läpimitat mitataan osien puolivälistä (pölkyn kohdista 0,5 metriä, 1,5 metriä ja niin edelleen sekä viimeisen pölkynosan puolivälistä) ja tilavuus lasketaan ympyrälieriön kaavalla (ns. Huberin tilavuus, kaava 10). Tyvipölkkyjen kohdalla edellisestä poiketaan siten, että tyviosien (0–1,0 metriä) tilavuudet lasketaan hakkuukonemittauksen tavoin tyviprofiilifunktion avulla. (Kivinen 2009, 124.) Huberin kaava on muotoa:

$$V = L \times g_{1/2} \quad (10),$$

jossa L = pölkyn pituus
 $g_{1/2}$ = pölkyn poikkileikkauspinta-ala pölkyn puolivälissä (Kärkkäinen 1984, 21).

Hakkuukonemittauksen mittaustulos on hyväksyttävä, jos tarkastusmittauksen suhteellinen ero perusmittaukseen verrattuna on enintään ± 4 % tukki- ja kuitupuuryhmässä tai rungonosaluokassa (suurin sallittu poikkeama). Mikäli hakkuukonemittauksen tulos ei ole hyväksyttävä, tehdään lisätarkastus eron varmistamiseksi. Lisätarkastus kohdistetaan siihen puutavaralajiryhmään tai rungonosaluokkaan, jonka mittaustulos ei ole hyväksyttävä. Mikäli lisätarkastuksen jälkeen tarkastusmittausten keskimääräinen ero on suurinta sallittua poikkeamaa suurempi, säädetään mittauslaitetta ja oikaistaan perusmittauksen tulos oikeaksi. Oikaisu tehdään sille leimikon puutavaraerälle, joka on hakattu viimeisimmän rekisteröidyn tarkastuksen jälkeen. Oikaisun vaativasta tarkastusmittauksen tuloksesta tulee ilmoittaa kaikille mittausosapuolille. (Maa- ja metsätalousministeriö 2013, 16.) Mittauslaitetta on kuitenkin viritettävä, vaikka tarkastusmittauksen ja perusmittauksen ero on alle suurimman sallitun poikkeaman. Jo ± 1 % ja sitä suuremmat erot ovat tilastollisesti luotettavia, jolloin voidaan todeta, että mittauksessa on systemaattista virhettä, joka on korjattava.

2.2 Tehdasmittaus

Puutavaran tehdasmittaus alkoi yleistyä 1990-luvulla (Sipi 2009, 73). Vuonna 2013 tehdasmittauksen osuus luovutusmenetelmänä oli 19,7 % markkinahakkuista (Melkas 2014, 8). Tehdasmittauksen yleistymiseen ovat vaikuttaneet mittausmenetelmien kehittyminen ja lainsäädännön muuttuminen. Puutavaran tarkka mittaaminen tehtaalla on mahdollista kehittyneiden mittauslaitteiden ja mittausmenetelmien ansiosta. (Sipi 2009, 73.) Perusmittauksen tarkkuus on hyvä ammattitaitoisten mittaajien ja parempien mittausolosuhteiden ja -laitteiden ansiosta verrattuna maastossa tapahtuvaan mittaukseen. Myös mittauslaitteen toimivuuden seuranta on helpompi järjestää tehdasolosuhteissa erilaisilla hälytysjärjestelmillä, mikä lisää mittauksen luotettavuutta. (Metsäteho 2008; Sipi 2009, 73.)

Laki puutavaran mittauksesta (414/2013), maa- ja metsätalousministeriön asetus (12/13) ja Metsäntutkimuslaitoksen määräykset (1/2013 ja 2/2013) määrittelevät yleisperiaatteet ja vähimmäisvaatimukset tehdasmittauksen suorittamiselle (Metsäteho 2013). Laki puutavaran mittauksesta määrittelee tehdasmittauksen mittausosapuolten suorittamaksi luovutus-, työ- tai urakointimittaukseksi erityisellä puutavaran mittaus-, jalostus- tai terminaali- tai urakointipaikalla, jossa mittaustoiminta on säännöllistä ja laajamittaista ja tehdään pysyväis-

luonteisella mittauslaitteella. Tehdasmittaajalla tarkoitetaan tehdasmittauksen suorittavaa yhteisöä tai elinkeinonharjoittajaa.

Ennen tehdasmittauksen aloittamista yrityksen on tehtävä Luonnonvarakeskukselle tehdasmittausilmoitus. Ilmoituksesta on käytävä ilmi tehdasmittaajan nimi, yhteystiedot, mittauspaikka, mittauspaikalla käytettävät mittausmenetelmät ja -laitteet, mittauksen aloittamisajankohta sekä onko mittaustuloksen käyttötarkoitus luovutus-, työ- vai urakointimittaus. (Laki puutavaran mittauksesta 414/2013.)

Tehdasmittaajan on suoritettava omavalvontaa, jolla varmistetaan mittaustuloksen luotettavuus. Omavalvonnan tulee sisältää mittauslaitteen toiminnan käytönaikainen seuranta, kalibrointi, mittauslaitteen viritykset, mittaustuloksen tarkastukset sekä niiden dokumentointi. (Laki puutavaran mittauksesta 414/2013.) Omavalvonnassa mittausmenetelmän tai -laitteen tuottamaa mittaustulosta ja perusmittauksen tarkkuustasoa tulee seurata säännöllisesti otantaan perustuvalla tarkastusmittauksella (Maa- ja metsätalousministeriö 2013, 10).

Luonnonvarakeskuksen virassa toimivat viralliset mittaajat tekevät tehdasmittauksen valvontamittauksia. Valvontamittauksella selvitetään, että mittauspaikalla noudatetaan puutavaran mittauksesta säädettyä lakia. Mikäli virallinen mittaaja havaitsee valvontamittauksessa virheen, määrää hän tehdasmittaajan korjaamaan virhe ja oikaisemaan tarvittaessa mittaustulos päätöksessä määrätyllä tavalla ja määräajassa. Oikaisu kohdistetaan niihin puutavaraeriin, jotka on mitattu virheen havaitsemisen ja sen korjaamisen välisenä aikana. (Laki puutavaran mittauksesta 414/2013.)

2.2.1 Tukin mittaus

Tukkien mittaus tehdään sahalla tukkilajittelun yhteydessä. Tukit lajitellaan tehdasmittauksen yhteydessä koon, latvaläpimitan ja pituuden sekä laadun mukaisesti luokkiin sahausta varten. Tukin laadun arviointi tapahtuu yleensä silmämääräisesti tukin vaippa- ja katkaisupintojen ominaisuuksien perusteella. (Sipi 2009, 75.)

Tukki mitataan sahalla yleensä joko optisilla tai profiloivilla tukkimittareilla. Uusimmilla tukkimittareilla saadaan myös entistä enemmän tietoa tukin laadun arviointiin niiden mitatessa tukin pinnan ominaisuuksia ja kartoittaessa pinnalla esiintyviä oksaryhmiä. Tietokonetomografiaan perustuvilla mittareilla, niin sanotuilla tukkiröntgeneillä, pysty-

tään tukin koon ja tilavuuden mittauksen lisäksi määrittämään tukin laatua sen sisäisten laatuominaisuuksien perusteella. (Sipi 2009, 104–105.)

Optisella tukkimittarilla tukin läpimitta mitataan 1–3 senttimetrin välein varjokuvan perusteella 2–3 suunnasta yhden millimetrin tarkkuudella. Läpimitan mittausta voidaan toteuttaa esimerkiksi infrapunavalonsäteiden avulla. Säteet kulkevat lähettimestä vastakkaisella puolella olevaan vastaanottimeen, jolla rekisteröidään valonsäteet. Mittaus tehdään kahdesta toisiaan vastaan kohtisuorasta suunnasta kahdella lähetin-vastaanotinparilla. Pituus mitataan valokennoilla ja pulssiantureilla noin yhden senttimetrin tarkkuudella. Tilavuuden määrittäminen tapahtuu samalla periaatteella kuin hakkuukonemittauksessa. Optisella tukkimittarilla saadaan määritettyä tukin kuorellinen tai kuoreton tilavuus sekä tukin kartiokkuus, soikeus ja lenkous. (Sipi 2009, 105.)

Profiloivalla tukkimittarilla tukista tehdään kolmiulotteinen kuva, josta nähdään puun muoto. Tätä voidaan hyödyntää muun muassa sahausasetteen valinnassa. Tukin pinnan mittaaminen on joillakin mittareilla mahdollista myös kuoren alta, mikä mahdollistaa kuoripäällisten tukkien lajittelun kuorettomien läpimittojen perusteella. Mittauksessa käytetään usein hyväksi laser- ja videokameratekniikkaa. Pituus mitataan valokennoilla ja pulssiantureilla noin yhden senttimetrin tarkkuudella. Profiloinnin avulla tukista saadaan kuorellinen ja kuoreton tilavuus, lenkous, soikeus ja kartiokkuus sekä myös muita tukin pinnasta havaittavia ominaisuuksia riippuen mittaustekniikasta. Profiloivalla tukkimittareilla tukin mittaustiedot ovat yleensä tarkempia kuin optisilla mittareilla. (Sipi 2009, 105.)

Tietokonetomografiassa (CT, computer tomography) tarkoitetaan tietokoneavusteista kerroskuvausta. Kappaleen poikkileikkaus kuvataan yhdestä tai useammasta suunnasta röntgensäteilyn avulla. Röntgenputki lähettää säteitä, jotka kulkeutuvat tutkittavan kohteen läpi. Röntgensäteet kohdistetaan tukkiin yleensä 1–4 suunnalta. Säteet vaimenevat kulkiessaan puuaineen läpi. Puuaineen tiheys ja kosteus vaikuttavat säteiden vaimenemiseen. Mitä suurempia tutkittavan aineen tiheys ja kosteus ovat, sitä enemmän säteilyä imeytyy puuhun. Läpi mennyt säteily mitataan antureilla ja muutetaan digitaaliseen muotoon. Tieto muutetaan kuvankäsittelytekniikalla visuaaliseksi kuvaksi esimerkiksi tukin poikkileikkauksesta. Tietokonetomografian avulla tukista voidaan mitata tarkat koko- ja tilavuustiedot, kuten kuoreton ja kuorellinen minimiläpimitta ja tilavuus, minimipituus, kuoren tilavuus, soikeus, kartiokkuus, lenkous ja mutkaisuus. Laitteistosta

riippuen pystytään määrittämään erilaisia oksatietoja tukin sisäisistä laatuominaisuuksista. Useimmilla laitteilla pystytään havaitsemaan myös tukin tiheys, sydänpuun läpimitta, vuosiluston leveys, vierasesineet, laho ja halkeamat. (Sipi 2009, 106).

2.2.2 Tukkimittarin tarkastusmittaus

Tukkimittarin mittaustarkkuutta seurataan päivittäin erilaisten kalibrintiputkien ja testikappaleiden avulla. Tämän lisäksi tukkeja arvotaan satunnaisotantana tarkastukseen, jolla seurataan mittaustuloksen ja perusmittauksen tarkkuustasoa tarkastuserien mittauksella. (Metsäteho 2013.) Tarkastuserän otannan aikaväli omavalvonnassa on 1–2 käyttöviikkoa. Tarkastuserän koko määritetään samalla tavalla kuin hakkuukoneen tarkastuserien mittauksessa. Myös ulkopuoliseen valvontaan kuuluva valvontamittaus tehdään tarkastuserien mittauksena. (Maa- ja metsätalousministeriö 2013, 12–13.) Viralliset mitaajat tekevät valvontamittauksia pistokokeina siten, että tehdasmittauspaikka tarkastetaan keskimäärin kerran vuodessa (Metsäteho 2013).

Tukkimittarin tarkastuserien mittauksessa mittausmenetelmänä käytetään maa- ja metsätalousministeriön asetuksen 12/13 mukaisesti manuaalista pätkittäin mittausta (ns. Huberin tilavuus), kun tarkastusmittaus suoritetaan manuaalisena mittauksena. Pölkyn tilavuus määritetään yhden metrin pituisten pölkynosien tilavuuksien summana. Pölkyn pituus mitataan yhden senttimetrin tarkkuudella. Pölkynosien läpimitat mitataan yhden millimetrin tarkkuudella kahdesta eri suunnasta ristimittauksena osien puolivälistä (0,5 m, 1,5 m ja niin edelleen sekä viimeisen pölkynosan puolivälistä) ja tilavuus lasketaan ympyrälieriön kaavalla. (Sipi 2009, 75.) Tukkien tehdasmittauksessa perusmittauksen ero tarkastusmittaukseen saa olla enintään $\pm 2\%$ (Maa- ja metsätalousministeriö 2013, 14).

Tarkastusmittauksen tulokset on dokumentoitava ja niitä on säilytettävä vähintään kaksi vuotta. Mittausosapuolilla on oikeus tutustua tarkastusmittauksen tuloksiin ja he voivat osallistua tarkastusmittauksen suorittamiseen sovituksi. Virallisen mitaajan suorittamasta valvontamittauksesta tulee laatia tarkastuspöytäkirja, joka arkistoidaan Luonnonvarakeskuksessa. (Laki puutavaran mittauksesta 414/2013.)

3 Opinnäytetyön tarkoitus

Tarkastusmittauksen ja perusmittauksen eroa käytetään mittauslaitteen kalibrointitarpeen määrittämiseen. Mikäli tarkastusmittausmenetelmien välillä on eroa tilavuuksissa, siirtyy tämä ero myös perusmittauksiin. Jos tilavuuksien välillä on systemaattista eroa, johtuu se tyviosan erilaisesta tilavuuden määrittämisestä tarkastusmittauksissa. Hakkuukoneen tarkastusmittauksessa tyviosan tilavuus perustuu tyviprofilifunktion käyttöön ja tukkimittarin tarkastusmittauksessa Huberin kaavaan (kaava 10, s. 12).

Tässä opinnäytetyössä selvitettiin, onko hakkuukoneen ja tukkimittarin tarkastusmittausmenetelmien välillä eroa männyn tyvipölkyn ja erityisesti sen tyviosan (0–1,0 m) tilavuuden määrittämisessä. Työssä ei tutkittu kyseisten mittausmenetelmien tulosten todenmukaisuutta, vaan tarkastelu keskittyi mittausmenetelmien keskinäisiin eroavaisuuksiin. Opinnäytetyö pyrki vastaamaan seuraaviin kysymyksiin: onko hakkuukoneen ja tukkimittarin tarkastusmittausmenetelmillä eroa männyn tyvipölkyn tilavuuden määrittämisessä, kun tarkasteluja tehdään hankinta-alueittain, leimikoittain, järeyden ja kannonkorkeuden suhteen? Lisäksi vertailtiin tyviosan tilavuuseroja harvennus- ja uudistushakkuuleimikoiden, kivennäis- ja turvemaan leimikoiden sekä kivennäismaan tuoreen ja kuivahkon kankaan kasvupaikan leimikoiden välillä.

4 Menetelmät ja aineisto

4.1 Tutkimusmenetelmän valinta

Opinnäytetyössä selvitettiin mittausmenetelmän ja tyviosan tilavuuden välistä yhteyttä, jolloin tutkimus kuului empiirisen tutkimuksen piiriin. Empiirisessä tutkimuksessa tutkimustulokset saadaan analysoimalla ja mittaamalla konkreettisia havaintoja tutkimuskohteesta (Jyväskylän yliopisto 2014).

Tutkimusaineistona käytettiin ositetulla otannalla valituista koetyvipölkkyistä mitattuja läpimitta- ja pituustietoja sekä niiden perusteella laskettuja tilavuuksia. Kun ilmiöiden välisiä yhteyksiä tarkastellaan numeeristen muuttujien avulla, on kyseessä määrällinen tutkimus. Määrällisessä tutkimuksessa ollaan kiinnostuneita erilaisista luokitteluista, syy- ja seuraussuhteista, vertailuista ja numeerisiin tuloksiin perustuvasta ilmiön selit-

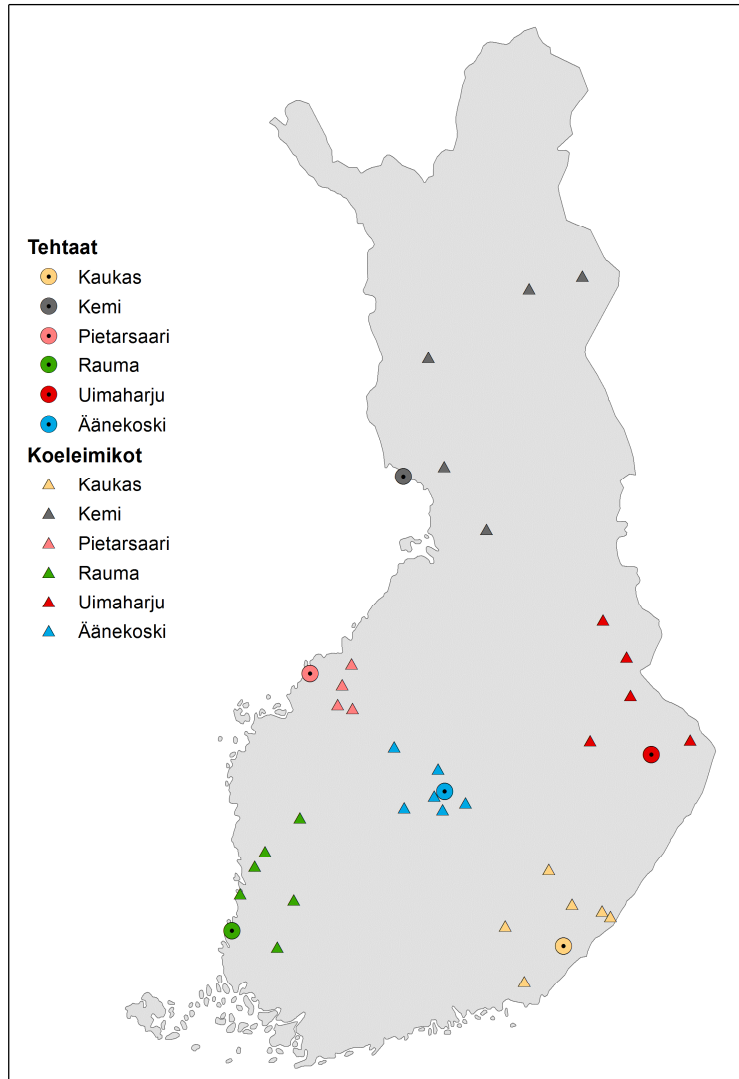
tämisestä (Jyväskylän yliopisto 2014). Opinnäytetyön menetelmänä oli siten empiirinen määrällinen tutkimus.

4.2 Aineiston hankinta

4.2.1 Koemetsiköiden valinta

Koemetsiköt hankittiin Luonnonvarakeskuksen sekä Metsä Group:n, Stora Enso Oyj:n ja UPM-Kymmene Oyj:n puunhankintaorganisaatioiden yhteistyönä. Metsäteollisuusyhtiöiden puunhankinta tarjosi tutkimukseen sopivia leimikoita, joista Luonnonvarakeskus valitsi mukaan otettavat leimikot.

Koemetsiköitä valittiin korjuuseen tulevista leimikoista eri puolelta Suomea kunkin tutkimuksessa mukana olevan tehtaan (Kaukas, Kemi, Pietarsaari, Rauma, Uimaharju ja Äänekoski) puunhankinta-alueelta (kuva 2). Kutakin tehdasta kohti oli tavoitteena valita kuusi mäntyleimikkoa, joista neljä olisi ollut uudistushakkuita ja kaksi harvennushakkuita. Yhteensä leimikoita oli tavoitteena saada tutkimukseen 36 kappaletta, joista kivennäismaiden leimikoita olisi ollut 29 ja turvemaiden leimikoita 7 kappaletta. Loppujen lopuksi tutkimukseen saatiin koetyvipölkyt 32 leimikolta, joista uudistushakkuuleimikoita oli 17 ja harvennushakkuuleimikoita 15 kappaletta. Kivennäismailla leimikoista oli 26 ja turvemaiilla 6 koeleimikkoa (taulukko 2).



Kuva 2. Tehtaiden ja koeleimikoiden maantieteellinen sijainti. (Taustakartta: Maanmittauslaitos)

Taulukko 2. Koeleimikoiden määrä tehtaittain hakkuutavan ja maaperän mukaan jaoteltuna.

	Tehtas						yht.
	Kaukas	Kemi	Pietarsaari	Rauma	Uimaharju	Äänekoski	
Hakkuutapa							
- uudistus	3	3	1	3	3	4	17
- harvennus	3	2	3	3	2	2	15
Maaperä							
- kivennäismaa	5	4	3	5	4	5	26
- turvemaa	1	1	1	1	1	1	6
n, kpl	6	5	4	6	5	6	32

Koeleimikoiksi pyrittiin valitsemaan metsikön rakenteen ja puuston laadun puolesta normaalia puunhankintaa vastaavia leimikoita. Valinnasta jätettiin kuitenkin pois leimikot, jotka olivat puustoltaan poikkeavan huonolaatuisia tai tutkimuksen tavoitteen kannalta epätarkoituksenmukaisia. Tällaisia olivat esimerkiksi poikkeavan tiheät ja harvat sekä poikkeuksellisen vanhat metsiköt, jotka vaikuttavat tyven muotoon. Myös poikkeuksellisen kiviset metsiköt tai jos metsikössä oli jokin muu korjuuseen vaikuttava olosuhdetekijä, jolla oli vaikutusta kannonkorkeuteen, jätettiin tutkimuksen ulkopuolelle. Myös sellaiset metsiköt, joiden puusto oli mutkaista ja etenkin tyvimutkia oli paljon, jätettiin pois, koska mutkaisuus vaikeuttaa tyviosien luotettavaa mittaamista.

4.2.2 Koepuiden valinta

Kultakin leimikolta valittiin 25 koepuuta viideltä koealalta (5 puuta koealalta). Koealat sijoitettiin leimikolle linjalle siten, että ensimmäinen koeala oli vähintään 20 metriä hakkuukuvion reunasta ja koealojen väli oli vähintään 30 metriä. Tällä vältettiin kuvion ulkopuolisten puiden sekä saman puun kahteen koealaan tuleminen. Mikäli kuviolle ei mahtunut tarpeeksi pitkää linjaa, jolta olisi saatu viisi koealaa edellä mainituilla välimatkoilla, valittiin toinen samansuuntainen linja, jolle osa koealoista sijoiteltiin.

Koealoilta valittiin koepuita viidestä läpimittaluokasta. Uudistushakkuissa läpimittaluokat olivat alle 20 senttimetriä, 20–25 senttimetriä, 25–30 senttimetriä, 30–35 senttimetriä ja yli 35 senttimetriä. Harvennushakkuissa läpimittaluokat vastaavasti olivat 10–13 senttimetriä, 13–16 senttimetriä, 16–19 senttimetriä, 19–22 senttimetriä ja yli 22 senttimetriä. Tavoitteena oli valita jokaisesta läpimittaluokasta yksi koepuu kultakin koealalta.

Koepuut valittiin relaskoopilla linjan kulkusuunnasta alkaen käyttäen relaskoopikerointia 2. Mikäli johonkin läpimittaluokkaan ei saatu koepuuta, toistettiin otanta relaskoopikertoimella 1. Jos edelleenkin ei saatu valittua koepuuta johonkin läpimittaluokkaan, valittiin koepuu toisesta läpimittaluokasta ja täydennettiin vajaa läpimittaluokka seuraavalla koealalla. Mikäli täydennys ei kuitenkaan onnistunut, valittiin tasaisesti puita muista läpimittaluokista siten, että koealan koepuiden määrä (25) saatiin täyteen. Koepuiksi ei kuitenkaan valittu puita, joissa oli voimakas tyvimutka, piparkakku-tyvi tai muu vastaava vika, joka vaikeutti luotettavaa mittausta tai esti normaalin puutaralajin katkonnan. Tällöin valittiin seuraava puu relaskoopilla.

Leimikot numeroitiin juoksevasti numeroilla 1–6 ja koepuut juoksevilla numeroilla 1–25 (kuva 2). Numerointi maalattiin puun kylkeen kahdelle puolelle. Lisäksi puun pinnasta poistettiin kuorta ja numero merkittiin tukkiliidulla puuaineeseen pintaan. Numeroinnin perusteella koetyvipölkkyjen metsässä ja tehtaalla tehdyt mittaustiedot voitiin yhdistää. Koepuihin myös maalattiin merkintä rungon ympäri 1,3 metrin korkeudelle syntypisteestä. Etäisyys määritettiin merkin alareunaan. Merkintä myös varmistettiin poraamalla kasvukairalla puuaineeseen ulottuva muutaman sentin syvyinen kolo maalimerkin alareunaan. Näiden merkintöjen avulla voitiin määrittää kannonkorkeus myöhemmin tehtaalla tehtyjen mittausten perusteella. Menettelyllä voitiin myös todeta, että merkittäviä tyveyksiä ei ollut tehty. Koeleimikoilta kerättiin lisäksi taustatietoina metsikön ikä, pohjapinta-alat jokaiselta koealalta, kivennäismailta kasvupaikkatyypin sekä metsikön sijainti.



Kuva 3. Uimaharjun koeleimikon 2 koepuu numero 25 Lieksan Littivaarassa. (Kuva: Henry Imponen)

4.2.3 Koetyvipölkkyjen korjuu ja mittaukset tehtaalla

Koeleimikolle tehtiin normaali puunkorjuu. Hakkuukoneiden kuljettajille annettiin ohjeeksi, että merkityillä koerungoilla ei tehdä tyveyksiä. Koetyvipölkkyjä tuli lisäksi kä-

sitellä siten, että kuoren irtoaminen etenkin niiden tyviosissa oli mahdollisimman vähäistä. Koetyvipölkkyt pidettiin erillään metsäkuljetuksen ja kaukokuljetuksen aikana ja ne varastoitiin tehtaan puukentälle omaan pinoonsa.

Tehtaalla puut mitattiin manuaalisella saksimittauksella. Ensimmäinen mittaus tehtiin 0,5 metrin etäisyydellä kaatoleikkauksesta ristimittauksena kahdesta suunnasta, ja siitä eteenpäin läpimitat mitattiin metrin välein sekä viimeisen pölkynosan puolivälistä. Lisäksi 1,3 metrin etäisyydeltä kaatosahauksesta mitattiin läpimitta kuudesta eri suunnasta. Läpimitat mitattiin yhden millimetrin ja pölkyn pituus yhden senttimetrin tarkkuudella. Manuaalisen saksimittauksen suorittivat Luonnonvarakeskuksen viralliset mittajat Tapio Wall ja Erkki Salo. Pölkkyistä mitattiin myös kaatosahauksen ja maastossa 1,3 metrin korkeudelle syntypisteestä tehdyn merkin välimatka kannonkorkeuden määrittämistä varten.

Tehdasmittausten jälkeen aineistossa oli 793 koetyvipölkyn mittaustiedot (alkuperäinen tavoite oli 900 koetyvipölkkyä). Uudistushakkuuleimikoista aineistossa oli 424 koepölkkyä ja harvennushakkuuleimikoista 369 koepölkkyä. Kivennäismailla kasvaneita koepölkkyjä oli yhteensä 643 kappaletta ja turvemailla kasvaneita 150 kappaletta (taulukko 3).

Taulukko 3. Koetyvipölkkyjen määrä tehtaittain hakkuutavan ja maaperän mukaan jaoteltuna.

	Tehtas						yht.
	Kaukas	Kemi	Pietarsaari	Rauma	Uimaharju	Äänekoski	
Hakkuutapa							
- uudistus	75	75	25	75	74	100	424
- harvennus	75	50	71	75	48	50	369
Maaperä							
- kivennäismaa	125	100	71	125	97	125	643
- turvema	25	25	25	25	25	25	150
n, kpl	150	125	96	150	122	150	793

4.3 Aineiston käsittely

Koetyvipölkkyjen mittaustietojen perusteella määritettiin tilavuudet koepölkkyjen tyviosille (0–1,0 metriä), kokonaisille pölkkyille ja kolme metriä pitkille pölkkyille. Tila-

vuudet määritettiin lukujen 2.1.3 ja 2.2.2 mukaisilla hakkuukoneen ja tukkimittarin tarkastusmittausmenetelmillä. Koetyvipölkyille laskettiin myös kannonkorkeudet vähentämällä 1,3 metristä rinnankorkeusmerkin ja kaatoleikkauksen välinen etäisyys. Lisäksi määritettiin tyviprofilifunktion ja manuaalisen mittauksen läpimitta ero 50 senttimetrin etäisyydeltä kaatoleikkauksesta.

Tilavuuksien perusteella määritettiin suhteelliset tilavuuserot mittausten välillä. Tilavuuseroja tarkasteltiin hankinta-alueittain, leimikoittain, läpimitan suhteen ja kannonkorkeuden suhteen. Lisäksi suhteellisia tilavuuseroja vertailtiin harvennus- ja uudistushakkuiden välillä, kivennäis- ja turvemaan välillä sekä kivennäismaan kasvupaikoilla tuoreen ja kuivahkon kankaan kasvupaikkojen välillä.

5 Tulokset

5.1 Aineiston tilastolliset tunnuksot

Aineistolle laskettiin tyvipölkkyjen läpimitoille, pituuksille ja tilavuuksille keskiarvo, keskihajonta ja mediaani sekä määritettiin suurimmat ja pienimmät arvot. Nämä luvut on esitetty taulukossa 4 tehtaittain sekä koko aineistosta.

Koko aineistossa koetyvipölkkyjen keskimääräinen läpimitta 1,3 metrin etäisyydellä kaatoleikkauksesta oli 22,5 senttimetriä (keskihajonta 7,0 senttimetriä). Pienin koetyvipölkky oli läpimitaltaan 9,8 senttimetriä ja suurin 45,6 senttimetriä. Keskimääräinen pituus oli 460 senttimetriä (keskihajonta 61 senttimetriä) ja pituudet vaihtelivat 275 senttimetrin ja 610 senttimetrin välillä. Koetyvipölkkyjen keskitilavuus manuaalisella pätkittäin mittauksella eli Huberin tilavuudella määritettynä oli 189 kuutiodesimetriä (keskihajonta 122 kuutiodesimetriä). Pienimmän koetyvipölkyn tilavuus oli 30 kuutiodesimetriä ja suurimman 835 kuutiodesimetriä.

Kaukaan, Kemin ja Äänekosken koetyvitukit olivat keskiläpimitaltaan lähellä toisiaan kun taas Pietarsaaren koetyvitukkien keskiläpimitta oli muita tehtaita pienempi. Keskimäärin pisimmät koetyvitukit olivat Kaukaan hankinta-alueella ja lyhimmät Kemin tehtaan hankinta-alueella. Suurin keskitilavuus oli Kaukaan hankinta-alueen koetyvitukeilla ja keskitilavuudeltaan pienimmät tukit tulivat Pietarsaaren hankinta-alueelta.

Taulukko 4. Koetyvipölkkyjen läpimittojen, pituuksien ja tilavuuksien tilastolliset tunnuksset tehtaittain. D1,3m on pölkyn läpimitta 1,3 metrin etäisyydellä kaatoikkauksesta ja tilavuus on määritetty manuaalisena pätkittäin mittauksena.

D1,3m (cm)						
Tehdas	keskiarvo	keskihajonta	mediaani	suurin	pienin	n, kpl
Kaukas	23,6	7,4	22,8	44,9	11,1	150
Kemi	23,2	7,4	22,2	43,2	10,0	125
Pietarsaari	19,4	6,3	18,3	35,7	10,3	96
Rauma	23,1	6,9	22,6	37,9	9,8	150
Uimaharju	20,6	5,6	19,9	34,6	11,0	122
Äänekoski	23,5	6,8	23,1	45,6	9,8	150
Koko aineisto	22,5	7,0	21,7	45,6	9,8	793

Pituus (cm)						
Tehdas	keskiarvo	keskihajonta	mediaani	suurin	pienin	n, kpl
Kaukas	494	55	498	589	397	150
Kemi	417	83	399	549	275	125
Pietarsaari	476	55	486	610	299	96
Rauma	457	50	455	547	370	150
Uimaharju	475	54	488	583	328	122
Äänekoski	442	27	432	555	394	150
Koko aineisto	460	61	456	610	275	793

Tilavuus (dm ³)						
Tehdas	keskiarvo	keskihajonta	mediaani	suurin	pienin	n, kpl
Kaukas	227	155	183	835	38	150
Kemi	186	127	146	718	32	125
Pietarsaari	149	110	123	488	32	96
Rauma	192	105	165	469	30	150
Uimaharju	162	96	144	482	31	122
Äänekoski	199	113	175	666	31	150
Koko aineisto	189	122	159	835	30	793

5.2 Hankinta-alueiden ja leimikoiden väliset vaihtelut

Hakkuukoneen ja tukkimittarin tarkastusmittausmenetelmien keskimääräiset suhteelliset tilavuuserot tehtaittain on esitetty taulukossa 5. Koko aineistossa hakkuukoneen tarkastusmittaus antoi tyvipölkyn tyviosalle keskimäärin 5,4 % suuremman tilavuuden. Kokonaisilla pölkkyillä tilavuusero oli hakkuukoneen tarkastusmittauksella 1,5 % tukkimitta-

rin tarkastusmittausmenetelmää suurempi. Tarkasteltaessa pelkästään kolmen metrin pölkkyjä suhteellinen tilavuusero oli hakkuukoneen tarkastusmittausmenetelmällä keskimäärin 2,1 % suurempi kuin tukkimittarin tarkastusmittausmenetelmällä.

Tilavuuserot olivat pienimmät Rauman tehtaan hankinta-alueella ja suurimmat Uimaharjun tehtaan hankinta-alueella. Hankinta-alueiden välinen vaihtelu oli suurempaa kuin hankinta-alueiden sisäinen vaihtelu eli niin sanottu satunnaisvaihtelu. Tilavuuserot poikkeavat ainakin kahden hankinta-alueen välillä tilastollisesti merkitsevästi (p-arvo alle 0,05) kaikilla tarkastelutavoilla.

Taulukko 5. Hakkuukoneen ja tukkimittarin tarkastusmittausmenetelmien suhteellisten tilavuuserojen keskiarvot (suluissa keskihajonnat) eri pölkyn osilla hankinta-alueittain. s_w on hankinta-alueiden sisäinen hajonta ja s_b hankinta-alueiden välinen hajonta.

Tehdas	Tyviosa 0–100 cm %	Kokonainen pölkky %	3 metrin pölkky %	n, kpl
Kaukas	4,2 (6,0)	1,1 (1,6)	1,6 (2,4)	150
Kemi	7,0 (5,8)	2,2 (1,9)	2,7 (2,2)	125 (124)*
Pietarsaari	5,9 (5,9)	1,6 (1,7)	2,3 (2,3)	96 (95)*
Rauma	2,4 (7,3)	0,5 (2,2)	0,9 (3,0)	150
Uimaharju	8,2 (6,1)	2,2 (1,7)	3,2 (2,3)	122
Äänekoski	5,9 (6,3)	1,6 (1,7)	2,3 (2,4)	150
Koko aineisto				793 (791)*
keskiarvo	5,4	1,5	2,1	
s_w	6,3	1,8	2,5	
s_b	24,2	7,5	9,6	
p-arvo	$7,7 \times 10^{-14}$	$4,1 \times 10^{-16}$	$5,9 \times 10^{-14}$	

* havaintojen määrä 3 metrin pölkkyillä

Hakkuukoneen ja tukkimittarin tarkastusmittausmenetelmien keskimääräiset suhteelliset tilavuuserot leimikoittain on esitetty taulukossa 6. Hakkuukoneen tarkastusmittausmenetelmä antoi keskimäärin suuremman tilavuuden kuin tukkimittarin tarkastusmittausmenetelmä kahta leimikkoa lukuun ottamatta kaikilla koeleimikoilla. Kahdella Rauman tehtaan koeleimikolla tilavuusero oli negatiivinen (koeleimikot 4 ja 6), eli näillä leimikoilla tukkimittarin tarkastusmittauksen tulos oli keskimäärin hakkuukoneen tarkastusmittausta suurempi. Myös leimikoiden välillä vaihtelu oli suurempaa kuin leimikoiden sisällä. Keskimääräiset tilavuuserot eroavat tilastollisesti merkitsevästi vähintään kahden leimikon välillä (p-arvo alle 0,05) kaikilla kolmella tarkastelutavalla.

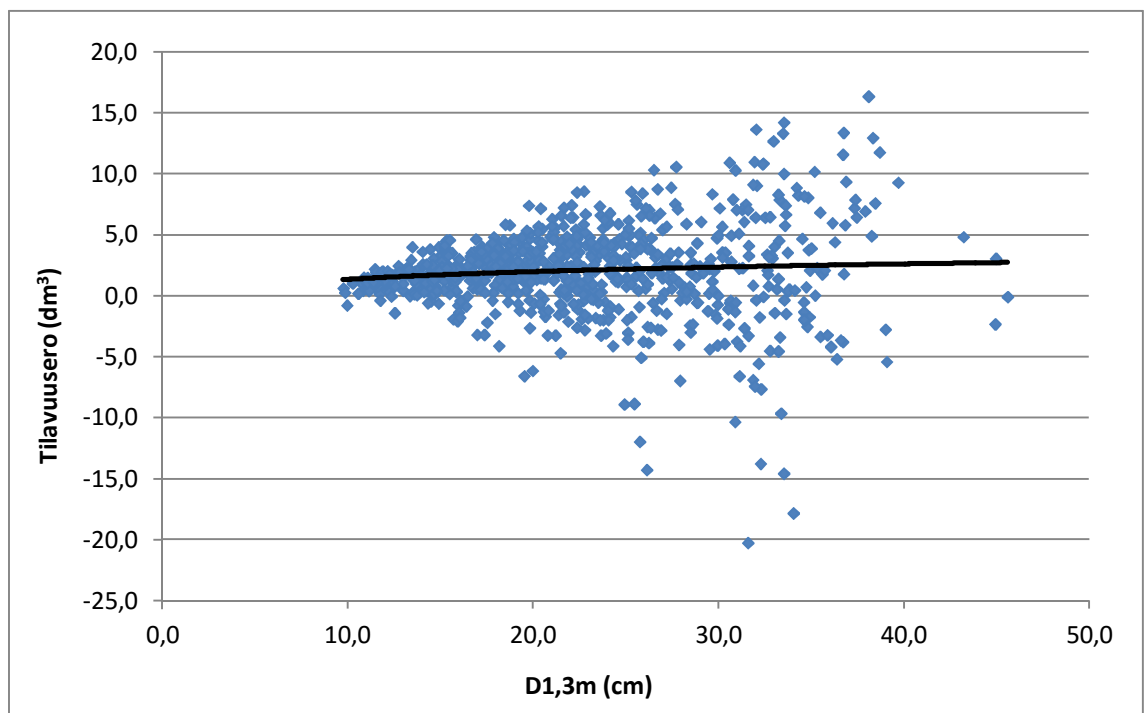
Taulukko 6. Hakkuukoneen ja tukkimittarin tarkastusmittausmenetelmien suhteellisten tilavuuserojen keskiarvot (suluissa keskihajonnat) eri pölkyn osilla leimikoittain. s_w on leimikoiden sisäinen hajonta ja s_b leimikoiden välinen hajonta.

Koeleimikko	Tyviosa 0–100 cm	Kokonainen pölkky	3 metrin pölkky	n, kpl
	%	%	%	
Kaukas1	6,9 (6,4)	1,8 (1,6)	2,7 (2,5)	25
Kaukas2	5,0 (5,2)	1,4 (1,5)	2,0 (2,0)	25
Kaukas3	0,9 (5,5)	0,2 (1,5)	0,3 (2,2)	25
Kaukas4	2,3 (3,7)	0,6 (1,0)	0,9 (1,5)	25
Kaukas5	2,1 (5,1)	0,5 (1,3)	0,8 (2,1)	25
Kaukas6	7,8 (6,6)	2,0 (1,7)	3,0 (2,6)	25
Kemi1	7,1 (7,0)	2,4 (2,5)	2,8 (2,8)	25 (24)*
Kemi3	6,1 (6,8)	1,6 (1,9)	2,4 (2,7)	25
Kemi4	6,6 (4,9)	1,6 (1,2)	2,5 (1,9)	25
Kemi5	6,8 (5,2)	2,3 (1,8)	2,6 (2,0)	25
Kemi6	8,5 (4,7)	2,8 (1,5)	3,3 (1,8)	25
Pietarsaari1	4,4 (5,8)	1,2 (1,6)	1,7 (2,3)	24
Pietarsaari3	4,5 (5,1)	1,4 (1,7)	1,8 (2,1)	25
Pietarsaari4	5,5 (5,5)	1,3 (1,3)	2,1 (2,1)	25
Pietarsaari5	9,5 (6,0)	2,7 (1,8)	3,8 (2,5)	22 (21)*
Rauma1	4,7 (4,7)	1,3 (1,3)	1,9 (1,8)	25
Rauma2	5,0 (7,0)	1,3 (2,0)	1,9 (2,8)	25
Rauma3	4,7 (6,8)	1,2 (1,9)	1,8 (2,7)	25
Rauma4	-2,9 (9,5)	-1,1 (3,1)	-1,4 (4,0)	25
Rauma5	5,9 (4,2)	1,5 (1,1)	2,4 (1,7)	25
Rauma6	-3,0 (4,5)	-1,1 (1,5)	-1,3 (1,9)	25
Uimaharju1	6,8 (6,3)	1,9 (1,9)	2,6 (2,5)	25
Uimaharju2	8,8 (5,6)	2,2 (1,4)	3,3 (2,0)	25
Uimaharju3	6,8 (6,0)	1,7 (1,5)	2,6 (2,3)	25
Uimaharju4	7,7 (6,5)	2,0 (1,7)	3,0 (2,4)	24
Uimaharju5	11,1 (5,3)	3,4 (1,6)	4,3 (2,0)	23
Äänekoski1	6,5 (6,4)	1,8 (1,8)	2,5 (2,4)	25
Äänekoski2	5,8 (8,3)	1,6 (2,4)	2,2 (3,2)	25
Äänekoski3	3,6 (5,4)	1,0 (1,5)	1,4 (2,1)	25
Äänekoski4	4,7 (5,9)	1,3 (1,7)	1,8 (2,3)	25
Äänekoski5	6,4 (5,6)	1,6 (1,4)	2,4 (2,0)	25
Äänekoski6	8,6 (5,3)	2,3 (1,3)	3,3 (2,0)	25
Koko aineisto				793 (791)*
keskiarvo	5,4	1,5	2,1	
s_w	5,9	1,7	2,3	
s_b	15,3	4,7	6,2	
p-arvo	$5,5 \times 10^{-24}$	$3,1 \times 10^{-28}$	$1,5 \times 10^{-25}$	

* havaintojen määrä 3 metrin pölkyillä

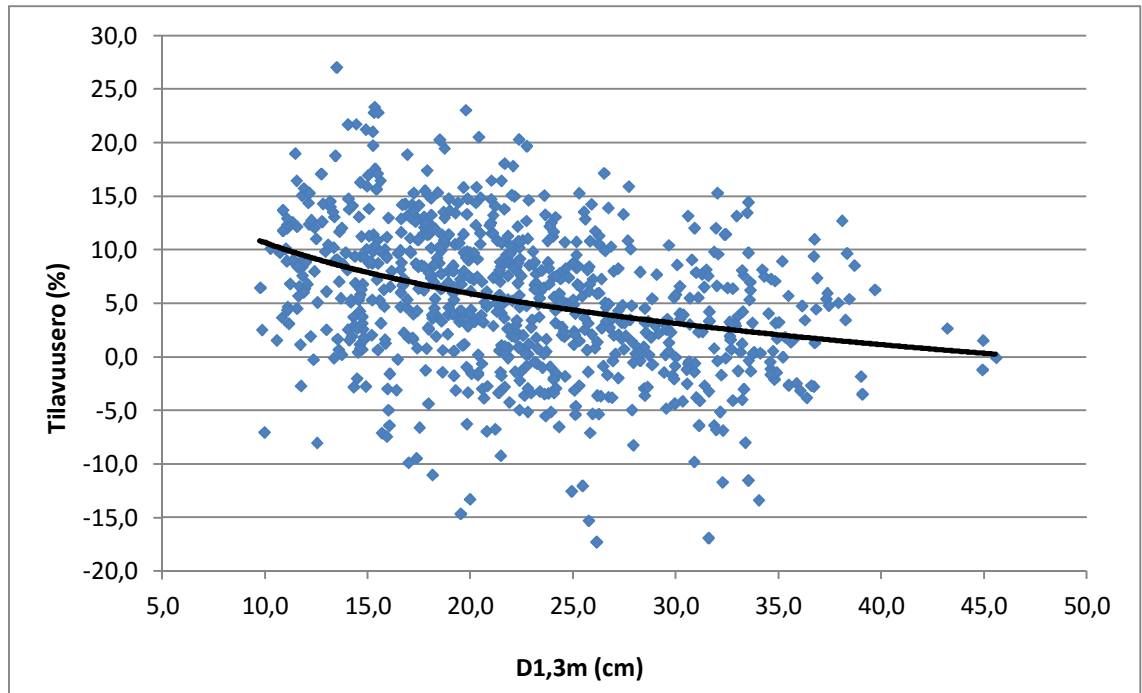
5.3 Tyvipölkkyjen läpimitan vaikutus tilavuuseroihin

Hakkuukoneen ja tukkimittarin tarkastusmittausmenetelmien absoluuttinen tilavuusero koetyvipölkkyjen 1,3 metrin etäisyydeltä kaatosahauksesta mitattujen läpimittojen suhteen on esitetty kuviossa 1. Koko aineistossa hakkuukoneen tarkastusmittausmenetelmä antoi koetyvitukeille keskimäärin 2,0 kuutiodesimetriä suuremman tilavuuden kuin tukkimittarin tarkastusmittausmenetelmä. Tilavuuserohavaintojen hajonta kasvoi voimakkaasti läpimitan kasvaessa. Kuitenkin tilavuuseron keskitaso pysyi positiivisena koko läpimittajakaumassa.

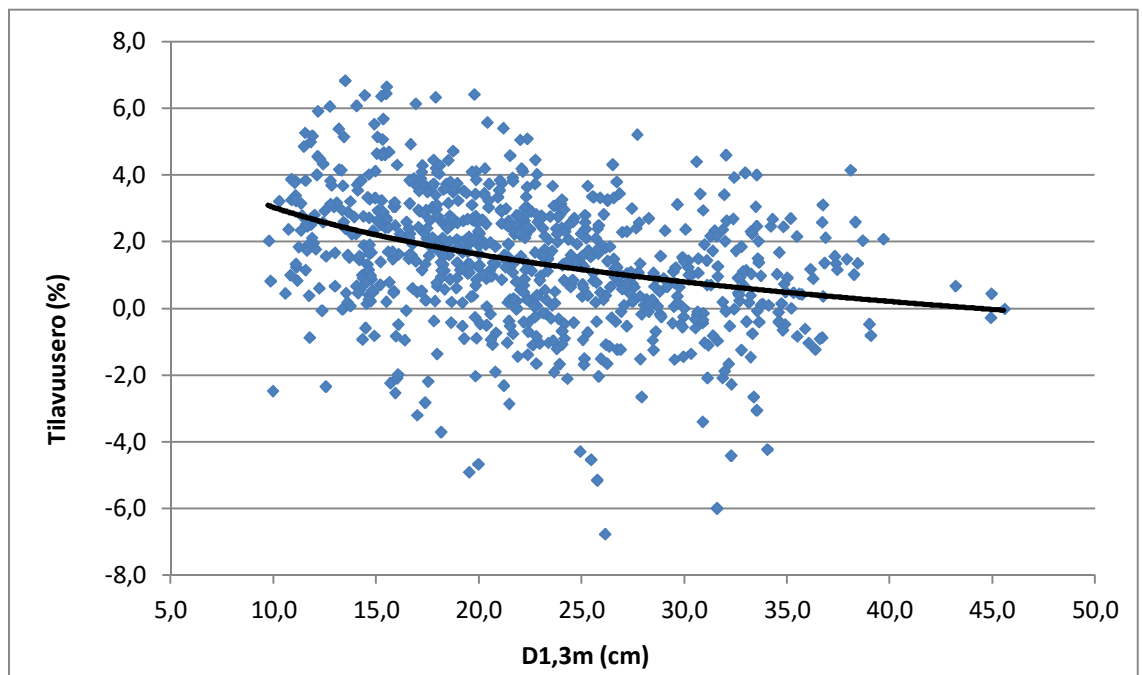


Kuvio 1. Hakkuukoneen ja tukkimittarin tarkastusmittausmenetelmien absoluuttinen tilavuusero läpimitan suhteen. D1,3m on pölkyn läpimitta 1,3 metrin etäisyydellä kaatoleikkauksesta.

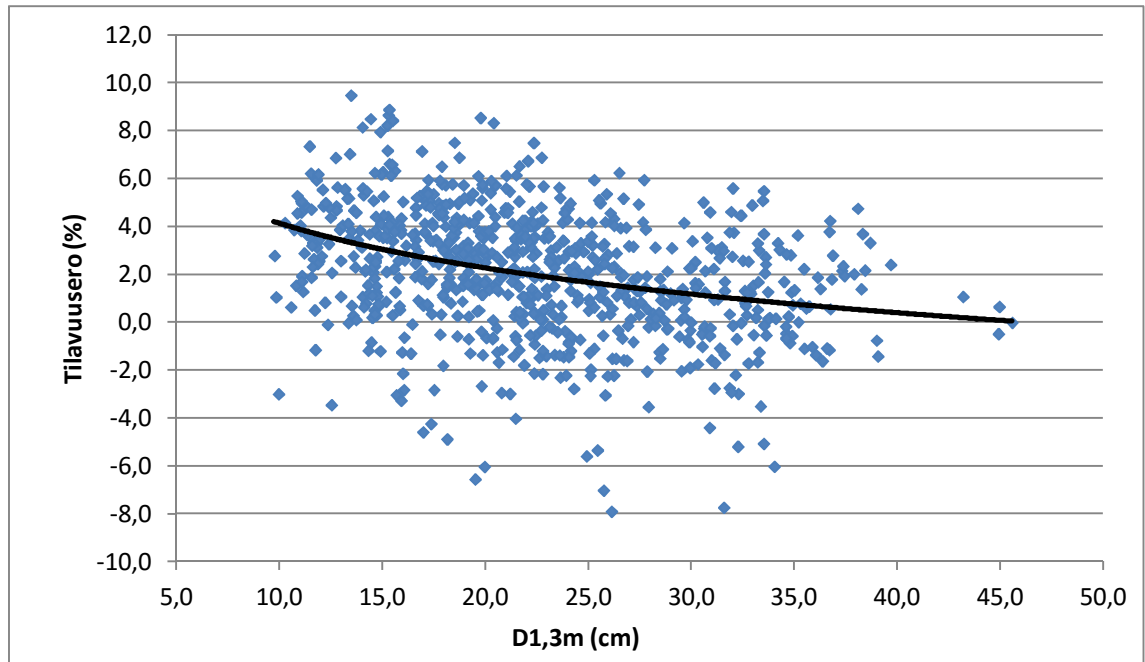
Suhteellisten tilavuuserohavaintojen keskitaso oli suurin pieniläpimittaisilla koetyvipölkkyillä ja laski tyvipölkkyjen läpimitan kasvaessa. Suhteellisen tilavuuseron keskitaso lähestyi nollaa yli 40 senttimetrin paksuisilla koetyvipölkkyillä (kuviot 2–4).



Kuvio 2. Hakkuukoneen ja tukkimittarin tarkastusmittausmenetelmien suhteellinen tilavuusero tyviosassa (0–100 cm) läpimitan suhteen. D1,3m on pölkyn läpimitta 1,3 metrin etäisyydellä kaatoleikkauksesta.



Kuvio 3. Hakkuukoneen ja tukkimittarin tarkastusmittausmenetelmien suhteellinen tilavuusero kokonaisilla tyvipölkyillä läpimitan suhteen. D1,3m on pölkyn läpimitta 1,3 metrin etäisyydellä kaatoleikkauksesta.

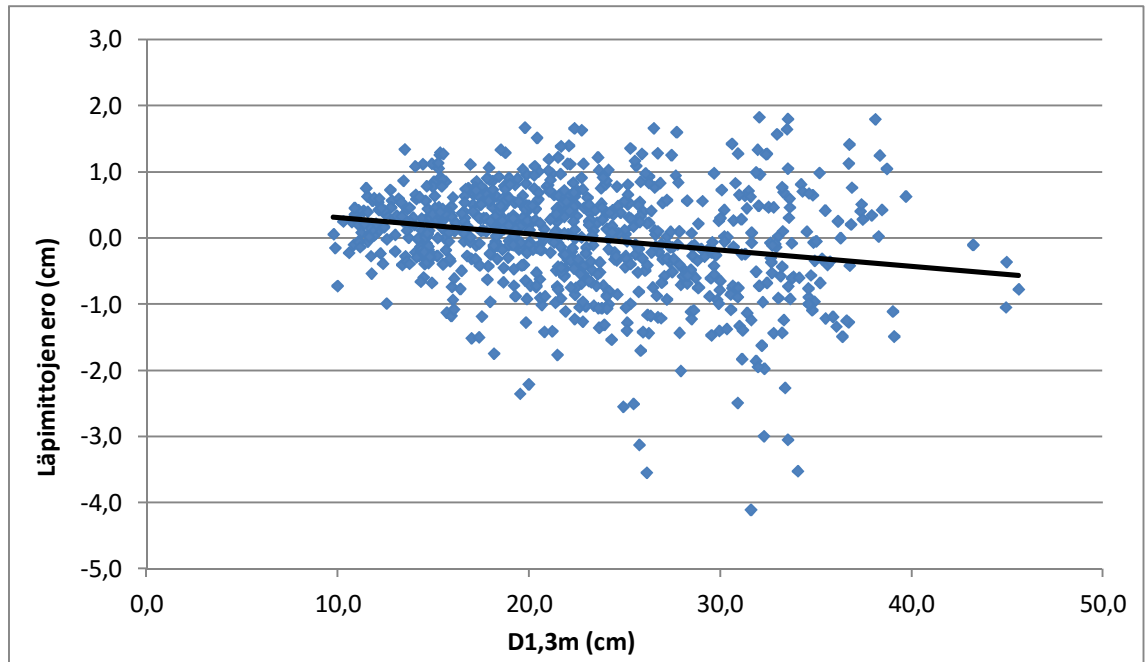


Kuvio 4. Hakkuukoneen ja tukkimittarin tarkastusmittausmenetelmien suhteellinen tilavuusero kolmen metriä pitkillä tyvipölkyillä läpimitan suhteen. D1,3m on pölkyn läpimitta 1,3 metrin etäisyydellä kaatoleikkauksesta.

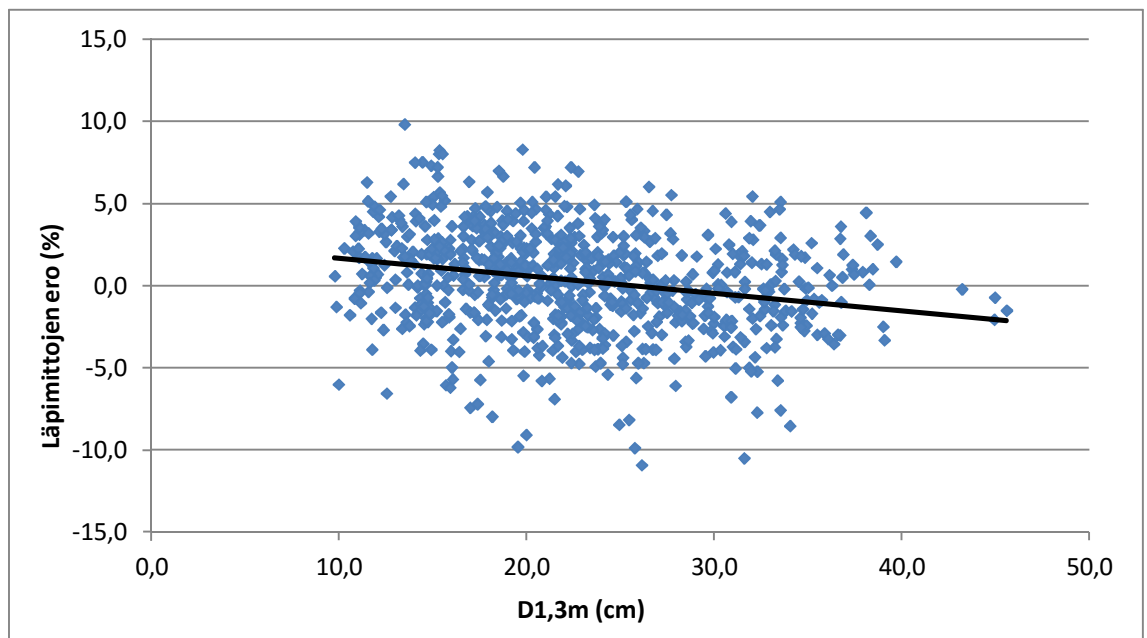
5.4 Tyviprofiilifunktion ja manuaalisen mittauksen läpimittaero

Tyvipölkyille määritettiin läpimitta myös tyviprofiilifunktiolla 50 senttimetrin etäisyydeltä kaatoleikkauksesta. Tätä läpimittaa verrattiin samasta rungonkohdasta mitattuun läpimittaan. Läpimittaerojen keskitaso laski tyvipölkkyjen läpimitan kasvaessa (kuviot 5 ja 6). Kapeammilla tyvipölkkyillä keskitaso oli nollan yläpuolella ja laski negatiiviseksi suuremmilla läpimitoilla niin absoluuttisia kuin suhteellisiakin läpimittaeroja tarkasteltaessa.

Leimikkokohtaiset absoluuttisten ja suhteellisten läpimittaerojen keskiarvot ja hajonnat on esitetty taulukossa 7. Koko aineistossa tyviprofiilifunktiolla määritetyn ja mitatun läpimitan ero oli 0,1 millimetriä. Leimikoiden sisällä hajonta oli pienempää kuin leimikoiden välillä. Rauman koeleimikoilla 4 ja 6 mitatut läpimitat olivat keskimäärin 12 millimetriä suurempia kuin tyviprofiilifunktiolla määritetyt läpimitat. Koeleimikko 4:llä oli myös suurin hajonta. Muilla koeleimikoilla läpimittojen keskimääräiset erot olivat alle 6 millimetriä suuntaansa.



Kuvio 5. 50 senttimetrin etäisyydeltä kaatoleikkauksesta tyviprofiilifunktiolla määritettyjen ja samasta rungonkohdasta mitattujen läpimittojen absoluuttiset erot pölkyn läpimitan suhteen. D1,3m on pölkyn läpimitta 1,3 metrin etäisyydellä kaatoleikkauksesta.



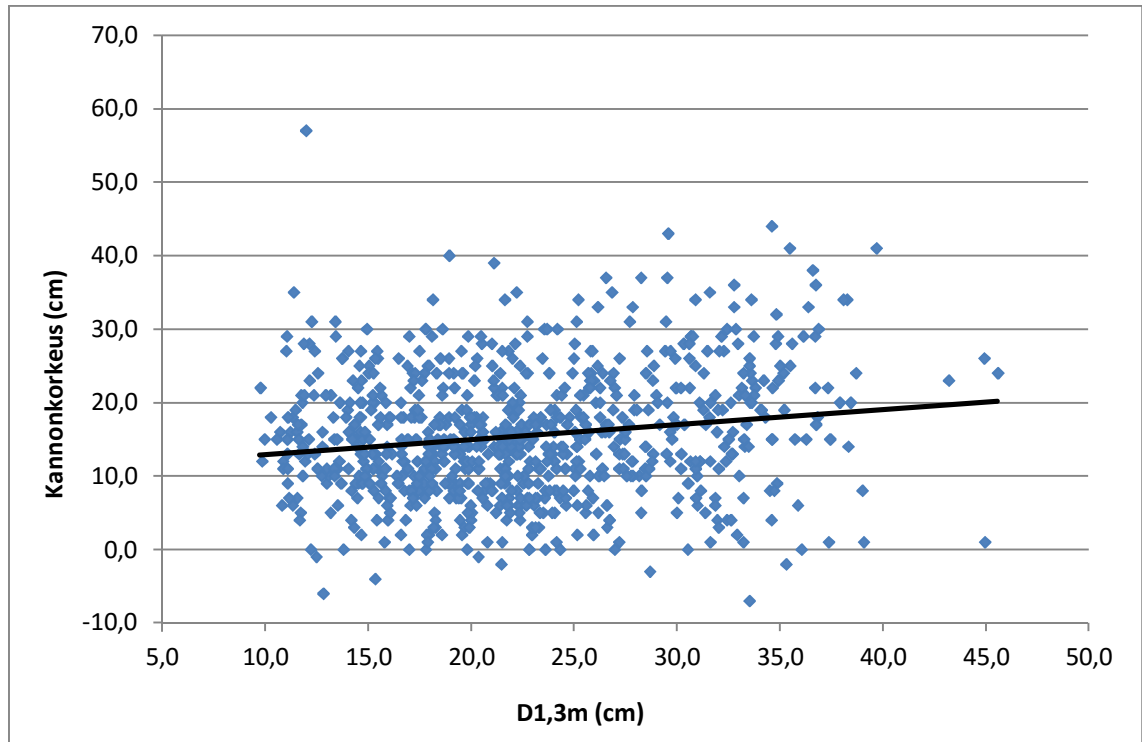
Kuvio 6. 50 senttimetrin etäisyydeltä kaatoleikkauksesta tyviprofiilifunktiolla määritettyjen ja samasta rungonkohdasta mitattujen läpimittojen suhteelliset erot pölkyn läpimitan suhteen. D1,3m on pölkyn läpimitta 1,3 metrin etäisyydellä kaatoleikkauksesta.

Taulukko 7. 50 senttimetrin etäisyydeltä kaatoleikkauksesta tyviprofilifunktiolla määritettyjen ja manuaalisella mittauksella mitattujen absoluuttisten ja suhteellisten läpimittaerojen keskiarvot (suluissa keskihajonnat) leimikoittain. s_w on leimikoiden sisäinen hajonta ja s_b leimikoiden välinen hajonta.

Koeleimikko	Läpimitan D50cm ero		n
	mm	%	
Kaukas1	0,9 (5,4)	0,9 (2,9)	25
Kaukas2	0,6 (4,8)	0,0 (2,4)	25
Kaukas3	-5,7 (8,5)	-1,7 (2,6)	25
Kaukas4	-3,0 (6,8)	-0,7 (1,7)	25
Kaukas5	-3,2 (7,0)	-1,0 (2,5)	25
Kaukas6	2,0 (6,6)	1,3 (3,1)	25
Kemi1	1,5 (6,9)	1,0 (3,3)	25
Kemi3	0,5 (5,7)	0,5 (3,2)	25
Kemi4	2,8 (6,7)	1,1 (2,2)	25
Kemi5	2,4 (6,8)	1,2 (2,3)	25
Kemi6	5,4 (6,8)	2,0 (2,2)	25
Pietarsaari1	-0,8 (5,5)	-0,4 (2,8)	24
Pietarsaari3	-1,1 (4,3)	-0,3 (2,4)	25
Pietarsaari4	1,1 (7,1)	0,6 (2,5)	25
Pietarsaari5	3,8 (5,3)	2,0 (2,8)	22
Rauma1	0,2 (6,0)	0,2 (2,1)	25
Rauma2	-0,3 (6,8)	0,1 (3,3)	25
Rauma3	-0,4 (6,7)	-0,2 (3,2)	25
Rauma4	-12,4 (14,9)	-3,6 (4,6)	25
Rauma5	0,3 (4,2)	0,3 (2,0)	25
Rauma6	-11,9 (7,9)	-3,4 (2,2)	25
Uimaharju1	1,3 (5,4)	0,8 (3,0)	25
Uimaharju2	5,2 (6,9)	2,0 (2,6)	25
Uimaharju3	1,5 (5,7)	0,9 (2,8)	25
Uimaharju4	3,1 (7,0)	1,5 (2,9)	24
Uimaharju5	4,4 (4,1)	2,8 (2,5)	23
Äänekoski1	2,3 (8,6)	1,0 (3,0)	25
Äänekoski2	-0,4 (7,4)	0,3 (3,9)	25
Äänekoski3	-1,3 (7,3)	-0,3 (2,5)	25
Äänekoski4	-0,6 (6,8)	0,1 (2,7)	25
Äänekoski5	2,5 (6,7)	1,0 (2,6)	25
Äänekoski6	3,2 (4,8)	1,7 (2,4)	25
Koko aineisto			793
keskiarvo	0,1	0,4	
s_w	0,7	2,8	
s_b	2,0	6,9	
p-arvo	$3,9 \times 10^{-32}$	$5,1 \times 10^{-22}$	

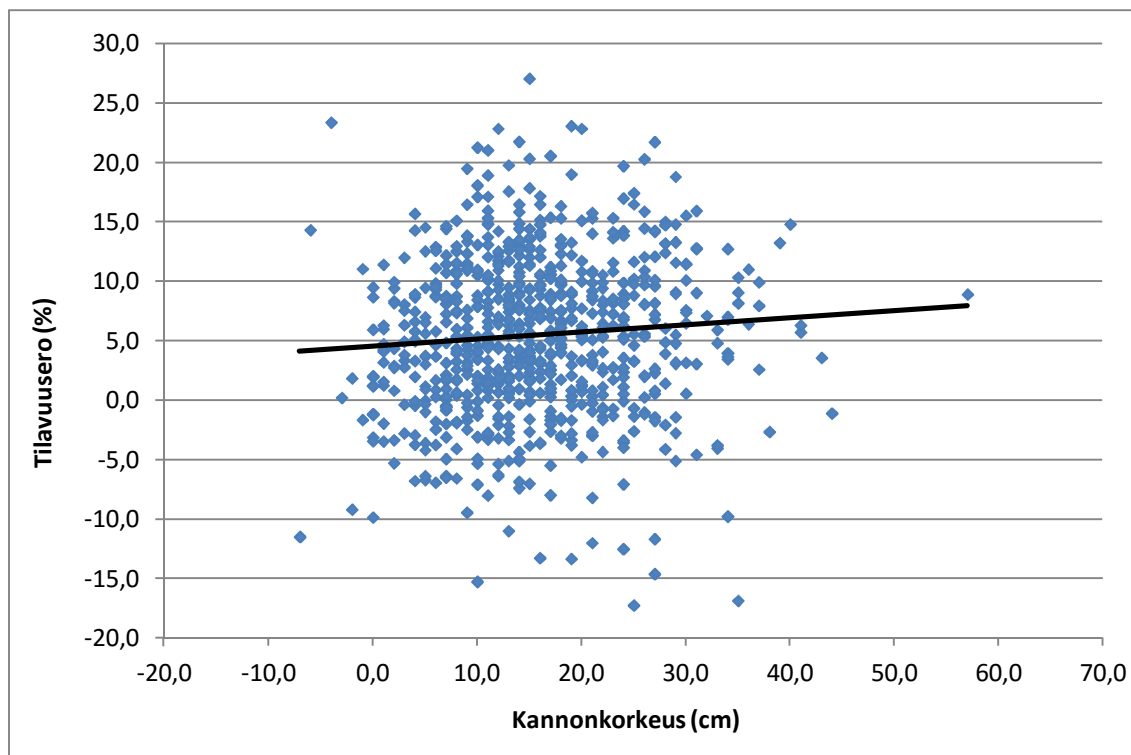
5.5 Kannonkorkeus ja sen vaikutus tilavuuseroon

Koetyvipölkylle laskettu keskimääräinen kannonkorkeus koko aineistossa oli 15,5 senttimetriä (keskihajonta 8,5 senttimetriä). Osalla koetyvipölkkyistä kannonkorkeus oli negatiivinen. Kantojen korkeudet vaihtelivat -7 senttimetrinä 57 senttimetriin. Kannonkorkeus kasvoi tyvipölkyn läpimitan kasvaessa (kuvio 6).



Kuvio 6. Koetyvipölkkyjen kannonkorkeus läpimitan suhteen. D1,3m on pölkyn läpimitta 1,3 metrin etäisyydellä kaatoleikkauksesta.

Hakkuukoneen ja tukkimittarin tarkastusmittausmenetelmien suhteelliset tilavuuserot koetyvipölkkyjen kannonkorkeuden suhteen on esitetty kuviossa 7. Suhteellinen tilavuusero kasvoi hieman kannonkorkeuden kasvaessa, mutta regressiosuoran selityskertoimen oli heikko ($R^2 = 0,006$).



Kuvio 7. Hakkuukoneen ja tukkimittarin tarkastusmittausmenetelmien suhteellinen tilavuusero tyviosassa (0–100 cm) kannonkorkeuden suhteen.

5.6 Hakkuutavan vaikutus tilavuuseroon

Hakkuukoneen tarkastusmittausmenetelmän ja tukkimittarin tarkastusmittausmenetelmien suhteellinen tilavuusero oli suurempi harvennushakkuuleimikoilla kuin uudistushakkuuleimikoilla (taulukko 8). Tyviosia tarkasteltaessa harvennushakkuilla suhteellinen tilavuusero oli 1,1 prosenttiyksikköä suurempi kuin uudistushakkuilla. Kokonaisilla pölkyillä ja kolme metriä pitkillä pölkyillä suhteelliset tilavuuserot olivat 0,7 ja 0,9 prosenttiyksikköä suuremmat harvennushakkuilla kuin uudistushakkuilla. Erot olivat tilastollisesti merkitseviä (p-arvo alle 0,05).

Koetyvipölkyjen keskiläpimitta harvennushakkuuleimikoilla oli 17,8 senttimetriä (keskihajonta 4,3 senttimetriä) ja uudistushakkuuleimikoilla 26,0 senttimetriä (keskihajonta 6,5 senttimetriä). Pölkyjen läpimitta on mitattu 1,3 metrin etäisyydeltä kaatosahauksesta.

Taulukko 8. Hakkuukoneen ja tukkimittarin tarkastusmittausmenetelmien suhteellisten tilavuuserojen keskiarvot (suluissa keskihajonnat) eri pölkynosilla hakkuutavan mukaan jaoteltuna.

Hakkuutapa	Tyviosa 0-100 cm %	Kokonainen pölkky %	3 metrin pölkky %	n, kpl
Harvennus	6,6 (6,2)	1,9 (1,8)	2,6 (2,5)	344 (342)*
Uudistus	4,5 (6,7)	1,2 (1,9)	1,7 (2,6)	449
p-arvo	$6,7 \times 10^{-6}$	$1,0 \times 10^{-6}$	$1,7 \times 10^{-6}$	

* havaintojen määrä 3 metrin pölkyillä

5.7 Maaperän vaikutus tilavuuseroon

Hakkuukoneen ja tukkimittarin tarkastusmittausmenetelmien suhteellinen tilavuusero oli keskimäärin suurempi kivennäismaalla kuin turvemaalla (taulukko 9). Koetyvipölkkyjen tyviosien suhteellinen tilavuusero on kivennäismaalla 1,5 prosenttiyksikköä suurempi kuin turvemaalla. Kokonaisilla pölkyillä suhteellinen tilavuusero on kivennäismaalla 0,4 prosenttiyksikköä ja kolmen metrin pituisilla pölkyillä 0,5 prosenttiyksikköä suurempi kuin turvemaalla.

Tyviosan keskimääräisten suhteellisten tilavuuserojen erotus kivennäismaan ja turvemaan välillä ei ole tilastollisesti merkitsevä, mikäli merkitsevyyden rajana käytetään p-arvoa 0,05. Sen sijaan kokonaisten pölkkyjen ja kolmen metrin pituisten pölkkyjen kohdalla erot ovat tilastollisesti merkitseviä.

Kivennäismaiden koeleimikoilla koetyvipölkkyjen keskiläpimitta oli 23,2 senttimetriä (keskihajonta 7,0 senttimetriä) ja turvemaiden koeleimikoilla 19,2 senttimetriä (keskihajonta 5,7 senttimetriä). Koetyvipölkkyjen läpimitat on mitattu 1,3 metrin etäisyydeltä kaatosahauksesta.

Taulukko 9. Hakkuukoneen ja tukkimittarin tarkastusmittausmenetelmien suhteellisten tilavuuserojen keskiarvot (suluissa keskihajonnat) eri pölkynosilla maaperän mukaan jaoteltuna.

Maaperä	Tyviosa 0-100 cm %	Kokonainen pölkky %	3 metrin pölkky %	n, kpl
Kivennäismaa	5,7 (6,2)	1,6 (1,8)	2,2 (2,4)	643 (641)*
Turvemaa	4,5 (7,8)	1,2 (2,3)	1,7 (3,2)	150
p-arvo	0,059	0,025	0,041	

* havaintojen määrä 3 metrin pölkyillä

5.8 Kivennäismaan kasvupaikan vaikutus tilavuuseroon

Hakkuukoneen ja tukkimittarin tarkastusmittausmenetelmien suhteelliset tilavuuserot olivat keskimäärin vain hivenen suurempia kuivahkon kankaan koeleimikoilla kuin tuoreen kankaan koeleimikoilla (taulukko 10). Koetyvipölkkyjen tyviosilla kuivahkon kankaan koetyvipölkkyillä suhteellinen tilavuusero oli keskimäärin 0,5 prosenttiyksikköä suurempi kuin tuoreen kankaan koetyvipölkkyillä. Kokonaisilla pölkyillä ja kolmen metrin pituisilla pölkyillä suhteelliset tilavuuserot olivat kuivahkolla kankaalla keskimäärin 0,1 prosenttiyksikköä ja 0,2 prosenttiyksikköä suuremmat kuin tuoreen kankaan koetyvipölkkyillä. Erot eivät kuitenkaan olleet tilastollisesti merkitseviä.

Kuivahkoilla kankailla koetyvipölkkyjen keskiläpimita oli 25,4 senttimetriä (keskihajonta 6,1 senttimetriä) ja tuoreen kankaan koeleimikoilla 22,0 senttimetriä (keskihajonta 7,3 senttimetriä). Koetyvipölkkyjen läpimitat on mitattu 1,3 metrin etäisyydeltä kaatosahauksesta.

Taulukko 10. Hakkuukoneen ja tukkimittarin tarkastusmittausmenetelmien suhteellisten tilavuuserojen keskiarvot (suluissa keskihajonnat) eri pölkynosilla kivennäismaan kasvupaikan mukaan jaoteltuna.

Kasvupaikka	Tyviosa 0-100 cm %	Kokonainen pölkky %	3 metrin pölkky %	n, kpl
Kuivahko kangas	6,0 (5,9)	1,6 (1,6)	2,3 (2,3)	259
Tuore kangas	5,5 (6,5)	1,5 (1,9)	2,1 (2,6)	359 (357)*
p-arvo	0,28	0,68	0,33	

* havaintojen määrä 3 metrin pölkyillä

5.9 Tulosten tarkastelu

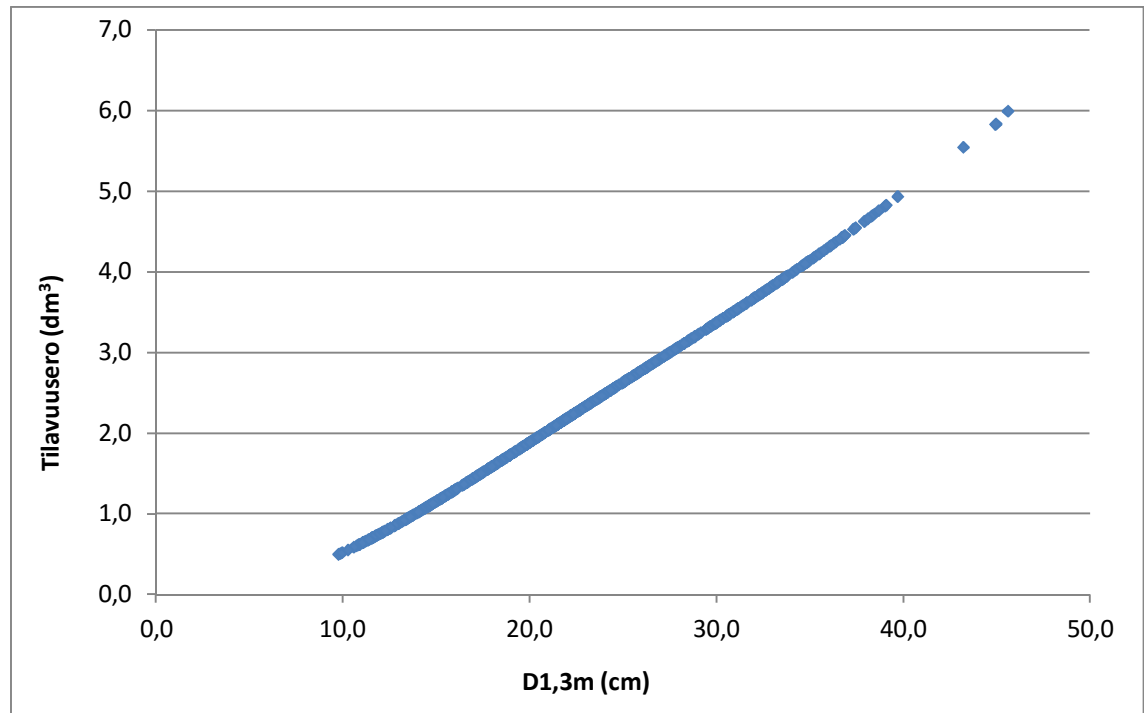
Tulosten perusteella hakkuukoneen tarkastusmittausmenetelmä antaa männyn tyvipölkyille suurempia tilavuuksia kuin tukkimittarin tarkastusmittausmenetelmä. Koko aineistossa hakkuukoneen tarkastusmittausmenetelmällä saatiin tyvipölkkyjen tyviosissa (0–100 cm) keskimäärin 5,4 % ja kokonaisilla tyvipölkyillä 1,5 % suurempi tilavuus. Kolme metriä pitkillä tyvipölkyillä keskimääräinen tilavuusero oli 2,1 %. Tilavuuseroissa oli kuitenkin voimakasta vaihtelua niin hankinta-alueiden kuin eri tutkimusleimikoidenkin välillä.

Erityisesti Rauman tehtaan leimikot 4 ja 6 poikkesivat muista leimikoista, koska ne olivat ainoat leimikot, joilla tukkimittarin tarkastusmittausmenetelmällä määritetty tilavuus oli suurempi kuin hakkuukoneen tarkastusmittausmenetelmällä määritetty. Mahdollinen selitys on näiden kahden Rauman leimikon koepuiden tavallista tyvekkäämpi runkokuoto. Kummallakin leimikolla mitattu läpimitta 50 senttimetrin etäisyydeltä kaatoleikkauksesta oli keskimäärin 1,2 senttimetriä suurempi kuin tyviprofiilifunktiolla määritetty läpimitta, kun koko aineistossa tyviprofiilifunktiolla määritetty läpimitta oli keskimäärin 0,1 millimetriä mitattua läpimittaa suurempi. Lisäksi kaatosahauksesta 50 senttimetrin etäisyydeltä mitatun läpimitan suhde 1,3 metrin läpimittaan oli keskimäärin 115 %, kun koko aineistossa se oli keskimäärin 111 %.

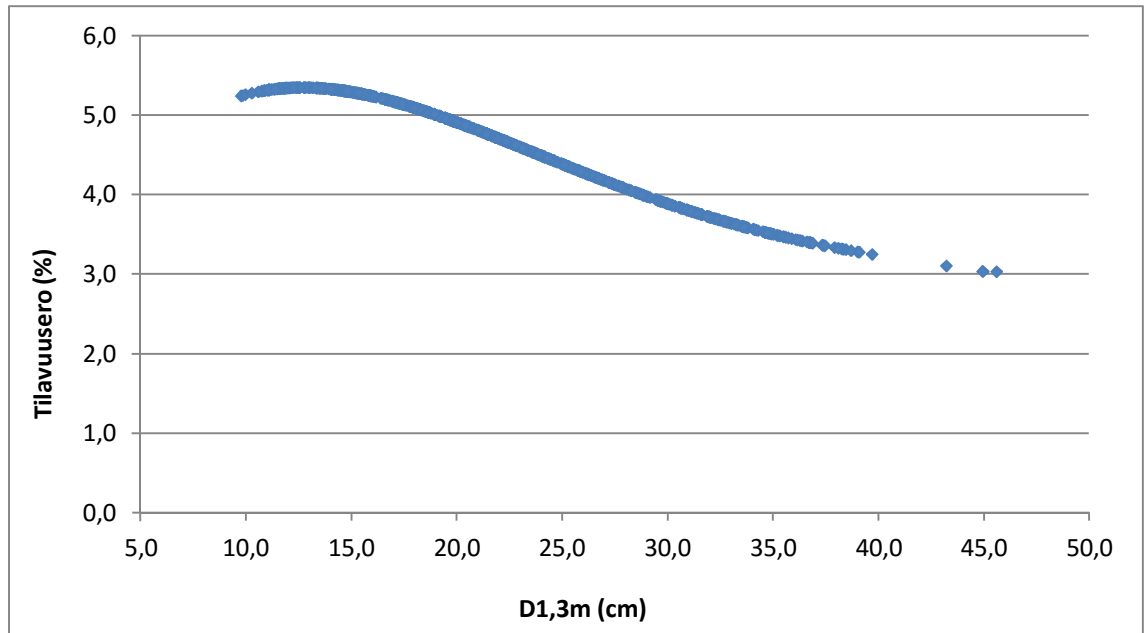
Myös muiden leimikoiden kohdalla näyttäisi siltä, että 50 senttimetrin etäisyydeltä kaatosahauksesta mitatun läpimitan ollessa keskimäärin suurempi kuin tyvifunktiolla määritetty vastaava läpimitta, on tarkastusmittausmenetelmien välisen suhteellisen tilavuuseron keskiarvo pieni. Ne kahdeksan koeleimikkoa, joilla oli pienimmät keskimääräiset suhteelliset tilavuuserot tarkastusmittausmenetelmien välillä (Rauma 6, Rauma 4, Kaukas 3, Kaukas 5, Kaukas 4, Äänekoski 3, Pietarsaari 1 ja Pietarsaari 3), muodostavat saman kahdeksan leimikon joukon, joilla myös keskimääräiset läpimittojen erot olivat pienimmät. Toisin sanoen näillä leimikoilla mitatut läpimitat olivat tyviprofiilifunktiolla määritettyjä läpimittoja suurempia verrattuna muihin leimikoihin.

Suhteellinen tilavuusero tarkastusmittausmenetelmien välillä on suurinta pieniläpimitteisillä tyvipölkyillä ja laskee läpimitan kasvaessa. Hakkuukoneen ja tukkimittarin tarkastusmittausmenetelmien tilavuuseron voi jakaa kahteen komponenttiin: tyviprofiilifunktion sisältämään mallivirheeseen ja tilavuudenmäärittämissä menetelmien eroista johtuvaan virheeseen. Koetyvipölkyille laskettiin myös tilavuudet tukkimittarin tarkastusmit-

tausmenetelmällä käyttäen 50 senttimetrin etäisyydeltä kaatosahauksesta tyviprofiilifunktiolla määritettyä läpimittaa. Kun hakkuukoneen tarkastusmittausmenetelmällä määritettyjä tilavuuksia verrattiin edellä kuvatulla tavalla määritettyihin tilavuuksiin, voitiin nähdä tilavuuden määrittämissä menetelmien vaikutus tyviosan tilavuuseroon (kuvio 8 ja 9).



Kuvio 8. Hakkuukoneen ja tukkimittarin tarkastusmittausmenetelmien absoluuttinen tilavuusero läpimitan suhteen, kun tyviosan (0–100 cm) Huberin tilavuuden laskennassa käytetty läpimitta on määritetty tyviprofiilifunktiolla. D1,3m on pölkyn läpimitta 1,3 metrin etäisyydellä kaatosahauksesta.



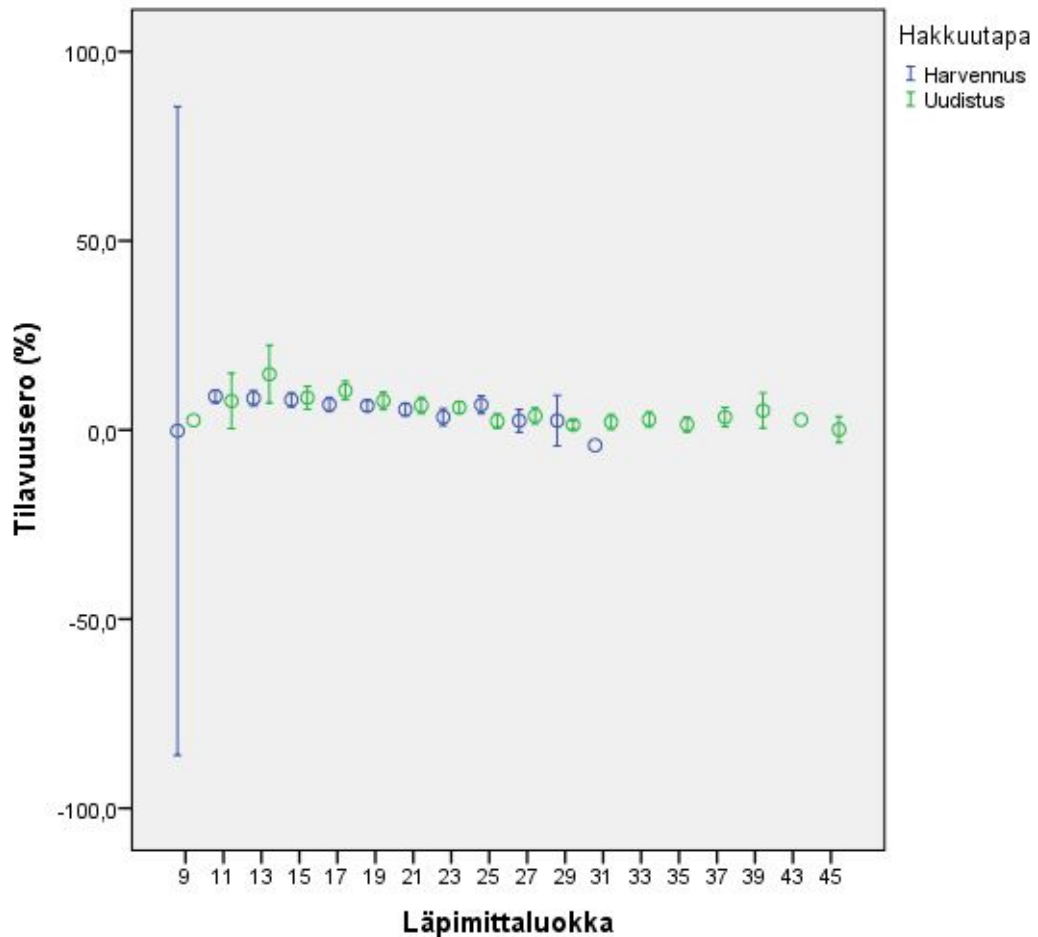
Kuvio 9. Hakkuukoneen ja tukkimittarin tarkastusmittausmenetelmien suhteellinen tilavuusero läpimitan suhteen tyviosassa (0–100 cm), kun Huberin tilavuuden laskennassa käytetty läpimitta on määritetty tyviprofilifunktiolla. D1,3m on pölkyn läpimitta 1,3 metrin etäisyydellä kaatosahauksesta.

Kuvion 8 mukaan hakkuukoneen tarkastusmittausmenetelmällä määritetyn tilavuuden ja Huberin tilavuuden ero kasvaa 0,5 kuutiodesimetristä 6 kuutiodesimetriin pölkyn läpimitan kasvaessa. Vastaavasti suhteellinen tilavuusero laskee reilusta 5 prosentista 3 prosenttiin (kuvio 9). Tämä johtuu tyvilaajentumasta, jota Huberin tilavuus ei ota täysimääräisesti huomioon, vaan tilavuus on aliarvio (Kärkkäinen 1984, 23).

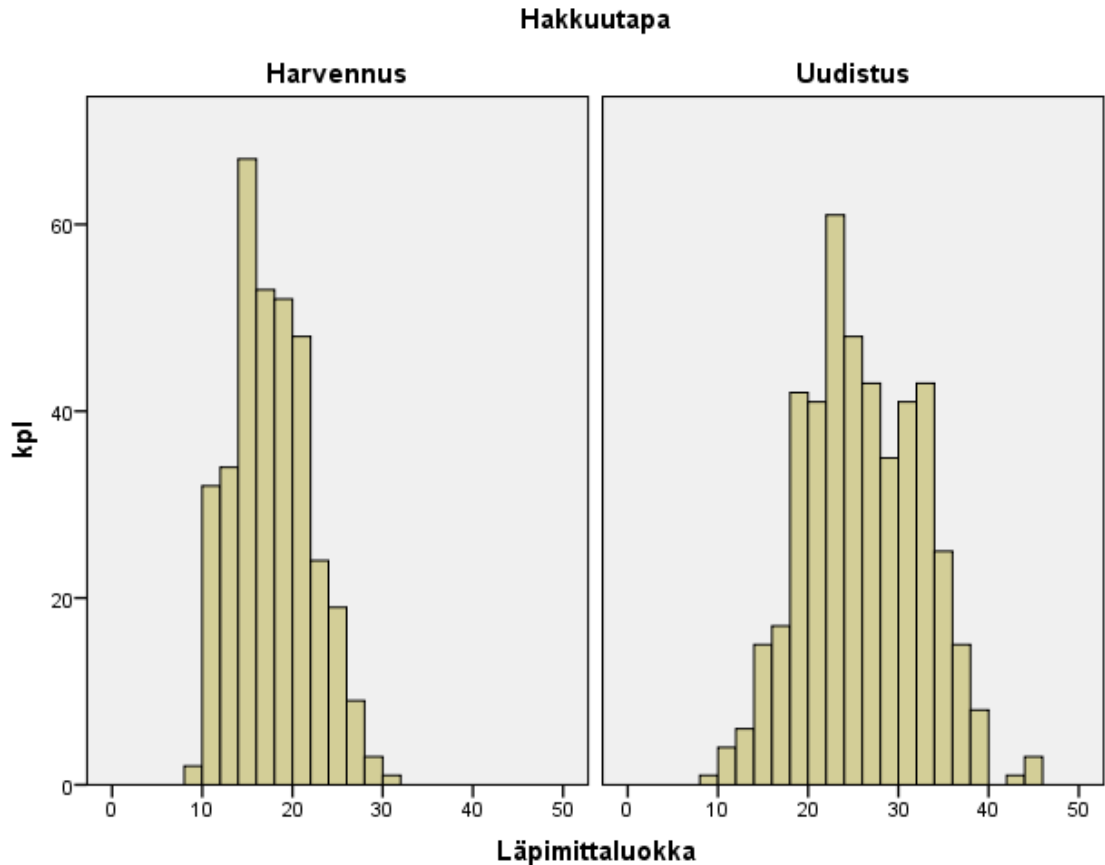
Harvennushakkuuleimikoilla tyvipölkkyjen keskimääräiset suhteelliset tilavuuserot olivat suuremmat kuin uudistushakkuuleimikoilla. Kun huomioidaan pölkkyjen keskiläpimitat eri hakkuutavoilla (harvennushakkuuleimikoilla 17,8 senttimetriä ja uudistushakkuuleimikoilla 26,0 senttimetriä), tulos noudattaa havaintoa, että pieniläpimittaisilla pölkkyillä suhteellinen tilavuusero on suurempi kuin järeämmillä pölkkyillä (kuviot 2–4, s.28–29).

Läpimitan vaikutusta voidaan arvioida tarkemmin tarkastelemalla kuviossa 10 läpimitaluokkia 15–25 senttimetriä, joissa on kussakin useampia havaintopuita molemmilla hakkuutavoilla (kuvio 11). Näissä läpimitaluokissa ovat harvennushakkuu- ja uudistushakkuuleimikoiden suhteellisten tilavuuserojen keskiarvot hyvin lähellä toisiaan. Lisäksi keskiarvojen 95 prosentin luottamusvälit ovat läpimitaluokkien sisällä suurilta osin

päällekkäin eri hakkuutavoilla. Tämä tarkoittaa, että mikäli huomioitaisiin pelkästään läpimittaluokat, joista löytyy riittävästi havaintoja kummallakin hakkuutavalla, kuten 15–25 senttimetriä, ei hakkuutavan välillä olisi tilastollisesti merkitsevää eroa. Näin ollen erot suhteellisissa tilavuuseroissa hakkuutapojen välillä johtuvat siitä, että harvennushakkuiden puusto oli pienempää kuin uudistushakkuiden puusto.



Kuvio 10. Hakkuukoneen ja tukkimittarin tarkastusmittausmenetelmien suhteelliset tilavuuserot tyviosassa (0–100 cm) kahden senttimetrin tasaavissa läpimittaluokissa. Palkit kuvaavat keskiarvon 95 %:n luottamusvälejä.



Kuvio 11. Koetyvipölkkyjen runkolukujakaumat hakkuutavan mukaan jaoteltuna kahden senttimetrin tasaavalla läpimittaluokituksella.

Kivennäismaalla hakkuukoneen ja tukkimittarin tarkastusmittausmenetelmien tilavuuserojen suhteelliset keskiarvot olivat suuremmat kuin turvemaalla, vaikka turvemaiden tyvipölkkyt olivat keskimäärin pienempiä kuin kivennäismailla. Mahdollinen syy turvemaiden kivennäismaita pienemmälle suhteelliselle tilavuuserolle on tyvipölkkyjen tyvekkäämpi runkomuoto turvemailla. 50 senttimetrin etäisyydeltä kaatoleikkauksesta mitattuja todellisia läpimittoja verrattiin tyviprofiilifunktiolla samasta rungonkohdasta määritettyihin läpimittoihin. Kivennäismailla tyviprofiilifunktiolla määritetty läpimitta oli keskimääräinen 0,5 millimetriä mitattua läpimittaa suurempi, kun taas turvemailla mitattu läpimitta oli keskimäärin 1,9 millimetriä suurempi kuin tyviprofiilifunktiolla määritetty läpimitta. Kun funktiolla määritetty läpimitta on todellista mitattua läpimittaa pienempi, kaventaa se mittausmenetelmästä johtuvaa suhteellista tilavuuseroa pätkittäin mittauksen ja Huberin tilavuuden välillä. Kivennäismaalla kuivahkon ja tuoreen kankaan kasvupaikoilla keskimääräiset suhteelliset tilavuuserot eivät poikenneet toisistaan tilastollisesti merkitsevästi.

Koetyvipölkkyjen lasketuissa kannonkorkeuksissa oli voimakasta vaihtelua kaikissa läpimittaluokissa. Pisin kanto oli melkein 60 senttimetriä. Tämän kohdalla on syytä olettaa, että pölkylle on tehty jostain syystä tyvileikko. Maastotyöohjeessa rinnankorkeus ohjeistettiin määrittämään puun syntypisteestä. Tapauksissa, joissa tulokseksi on saatu negatiivinen kannonkorkeus, on syntypiste todennäköisesti määritetty todellista syntypistettä ylemmäksi. Kannonkorkeus kuitenkin korreloi huonosti suhteellisen tilavuuseron kanssa, kun tarkastelussa oli koko aineisto.

6 Pohdinta

Saadut tulokset tukevat epäilyjä, että hakkuukonemittauksen ja tehdasmittauksen tulokset eroavat toisistaan etenkin männyn tyvipölkkyjen kohdalla. Kokonaisten pölkkyjen suhteelliset tilavuuserot tarkastusmittausmenetelmien välillä tässä tutkimuksessa olivat keskimäärin samaa suuruusluokkaa kuin Metsäntutkimuslaitoksen alustavassa tutkimuksessa (Lindblad ym. 2014). Myös vertailussa Minkkisen (2013) opinnäytetyön tuloksiin, oli kokonaisten pölkkyjen keskimääräinen tilavuusero tarkastusmittausmenetelmien välillä suuruusluokaltaan samaa kuin hakkuukonemittauksen ja tukkimittarin mittaustuloksen välillä.

Hakkuukoneen ja tukkimittarin tarkastusmittausten välisen suhteellisen tilavuuseron suuruus on riippuvainen tyvipölkyn läpimitasta. Tämä johtuu tarkastusmittausmenetelmissä käytettävistä erilaisista tilavuuden määritysmenetelmistä. Käytettäessä samoja lähtötietoja, eli tyviprofiilifunktiolla määritettyjä läpimittoja, tukkimittarin tarkastusmittausmenetelmässä käytettävä Huberin kaava antaa aliarvion tyviosan tilavuudesta. Suhteellinen tilavuusero on suurin pieniläpimittaisilla puilla ja pienenee puun läpimitan kasvaessa. Toisaalta tilavuuseroa aiheuttaa myös tyviprofiilifunktion mallivirhe, joka yhden läpimitan mittauskohdan tarkastelun perusteella näyttäisi olevan suurempi pieniläpimittaisilla puilla ja pienenevän suuremmilla pölkyillä. Tulokset eivät ole kuitenkaan täysin riippumattomat, sillä tyviprofiilifunktion lähtöarvona käytettiin manuaalisesti mitattua läpimittaa. Myös tyven muoto ja sen vaihtelu vaikuttavat hakkuukonemittauksen tuloksiin (Ala-Ilomäki 1993; Ahonen & Marjomaa 1994).

Hakkuukonemittaus on ylivoimaisesti käytetyin luovutusmittausmenetelmä yksityismetsien pystykaupoissa. Sen osuus on suurin myös, kun huomioidaan kaikkien omistajaryhmien puukaupat. Myös työmittausten menetelmänä Metsähallituksen ja metsäteollisuus-

tyhtiöiden hakkuissa käytetään lähes yksinomaan hakkuukonemittausta. Puukaupassa kaupan kokonaisarvo määräytyy käytettävän luovutusmittauksen mittaustuloksen perusteella. Mikäli hakkuukonemittaus ja tukin tehdasmittaus antavat systemaattisesti erisuuntaisia tuloksia, vaikuttaa luovutusmittausmenetelmän valinta puukaupan arvon työtaksan määräytymiseen.

Tyviosan tilavuuseron merkitys vähenee, kun tarkastellaan kokonaisia tukkieriä, joissa on tyvitukkien lisäksi mukana myös väli- ja latvatukit. Tässä tutkimuksessa ei ollut käytössä koeleimikoiden tarkkoja hakkuumääriä, joten tarkka tyvitukkien osuus ei ole tiedossa. Tarkastusmittausmenetelmien välisen tilavuuseron merkityksen arviointia vaikeuttaa lisäksi se, että suhteellinen tilavuusero on riippuvainen tyvitukkien järeydestä (kuvio 3, s. 30). Pieniläpimittaisilla koetyvipölkyillä suhteellinen tilavuusero oli suurempi kuin läpimitaltaan suuremmilla pölkyillä. Lisäksi läpimitan suurentuessa tyvitukkien suhteellinen osuus tukkierän kokonaistilavuudesta pienenee.

Mikäli oletetaan, että tyvitukkien tilavuus olisi koko leimikon tukkitilavuudesta noin 40 % ja tyvitukkien keskiläpimitta 1,3 etäisyydellä kaatosahauksesta vastaisi tässä tutkimuksessa olleiden puiden keskiläpimittaa, olisi hakkuukonemittauksen tulos kokonaisilla tukkierillä keskimäärin 0,6 % suurempi kuin tehdasmittauksen tulos. 50 000 euron puukaupassa, joka sisältää pelkästään mäntytukkia, tilavuuseron vaikutus olisi 300 euroa. Kun samoilla oletuksilla tarkastellaan vuonna 2013 yksityismetsien pystykaupoissa sekä metsäteollisuusyhtiöiden ja valtion metsistä hakattujen mäntytukkien kokonaismäärää (yhteensä noin 9 miljoonaa kuutiometriä), hakkuukoneen tarkastusmittausmenetelmällä saataisiin noin 54 000 kuutiometriä suurempi tilavuus kuin tukkimittarin tarkastusmittausmenetelmällä. Vuoden 2013 koko maan mäntytukin keskimääräisellä pystyhakkuiden kantohinnalla 55,49 €/m³ laskettuna tilavuuseron rahallinen arvo olisi noin 3 miljoonaa euroa. Nämä laskelmat perustuvat kuitenkin vahvoihin oletuksiin ja ovat siten vain suuntaa antavia.

Tutkimuksessa oli käytössä laaja aineisto, joka kattoi alueita eri puolilta maata. Leimikot olivat kuitenkin keskittyneet pääsääntöisesti mittausta paikkakuntien ympäristöön (kuva 2, s.20). Tämä johtui siitä, että tässä opinnäytetyössä käytetty aineisto oli samaa, jota Luonnonvarakeskus käytti omassa tutkimuksessaan, jossa tarkastetaan ja tarvittaessa korjataan tyviprofilifunktiota. Kyseisessä tutkimuksessa oli edellytyksenä mahdollisuus

tehdä upotusmittauksia, joten mittauspaikkakunnat määräytyvät sen mukaan. Koepuut on hankittu kyseisten tehtaiden puunhankinta-alueilta.

Tutkimuksessa pyrittiin tarkastelemaan eri tekijöiden vaikutusta tarkastusmittausmenetelmien tuloksiin. On kuitenkin huomioitava, että tarkasteltaessa yhtä tekijää taustalla vaikuttaa myös muita tekijöitä, joiden vaikutusta tulokseen ei tässä opinnäytetyössä käytetyillä menetelmillä voi nähdä. Eri tekijöiden yhtäaikaisen vaikutuksen selvittäminen olisi vaatinut monimuuttujamenetelmien käyttöä.

Laki puutavaran mittauksesta (414/2013) määrää, että mittausmenetelmä ei saa sisältää merkittävää systemaattista virhettä, joka toistuu mittauksesta toiseen samansuuntaisena. Koska perusmittauksen tulosta verrataan tarkastusmittauksen tulokseen ja mittauslaitteet viritetään mittaamaan tarkastusmittauksen mukaista tulosta, voivat perusmittauksen tulokset näennäisestä tarkkuudestaan huolimatta sisältää systemaattista virhettä, mikäli sellaista sisältyy tarkastusmittausmenetelmään. Tarkastusmittausmenetelmä ei saa sisältää systemaattista virhettä verrattuna tilanteeseen, että tarkastuserät mitattaisiin upotusmittauksena (Maa- ja metsätalousministeriö 2013, 11). Siihen, miten paljon käytetyt tarkastusmittausmenetelmät mahdollisesti sisältävät systemaattista virhettä, tämä opinnäytetyö ei pysty vastaamaan. Tätä varten tarkastusmittausten tuloksia pitäisi verrata upotusmittausten tuloksiin.

Luonnonvarakeskus on tutkimuksessaan selvittänyt tyviprofiilifunktion sisältämää virhettä männyn tyvipölkyillä vertaamalla koetyvipölkyjen tyviosien upotustilavuuksia tyviprofiilifunktiolla määritettyihin tilavuuksiin. Tutkimuksen mukaan tyviprofiilifunktio antaa systemaattisesti suurempia tuloksia kuin upotusmittaus. Tulosten perusteella männyn tyviprofiilifunktiota tullaan korjaamaan vuoden 2015 loppuun mennessä. (Luonnonvarakeskus 2015.)

Lähteet

- Ahonen O. & Marjomaa, J. 1994. Hakkuukonemittauksen tarkkuus. Metsätehon katsaus 10/1994. Vantaa: Metsäteho Oy.
- Ala-Ilomäki, J. 1993. Yksioteharvesterin mittaustarkkuuden riippuvuus rungon ominaisuuksista. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 450. Vantaa: Metsäntutkimuslaitos.
- Jyväskylän yliopisto 2014. Tutkimusstrategiat.
<https://koppa.jyu.fi/avoimet/hum/menetelmapolkuja/menetelmapolku/tutkimusstrategiat>. 26.2.2015.
- Kivinen, V. 2009. Hakkuukonemittaus. Teoksessa Sipi, M. Puuraaka-aineen mittaus. Mittausmenetelmät ja niiden perusteet. Metsävarojen käytön laitoksen julkaisuja 44. Helsinki: Helsingin yliopisto, 109–126.
- Kärkkäinen, M. 1984. Puutavaran mittauksen perusteet. Helsinki.
- Laasasenaho, J. 1982. Taper curve and volume functions for pine, spruce and birch. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 108. Helsinki: Metsäntutkimuslaitos.
- Laki puutavaran mittauksesta 414/2013.
- Lindblad, J., Antikainen, J. & Wall, T. 2014. Mittausmenetelmien erot männyn tyviosan tilavuuden mittauksessa. Metlan työraportteja 303. Joensuu: Metsäntutkimuslaitos.
- Luonnonvarakeskus. 2015. Männyn tyviosan kuutiointiin hakkuukonemittauksessa on tulossa muutoksia. <http://www.luke.fi/uutinen/mannyn-tyviosan-kuutiointiin-on-tulossa-muutoksia/>. 16.6.2015.
- Maa- ja metsätalousministeriö. 1999. Hakkuukonemittaus. MMM:n määräykset nro 100/99. Helsinki: Maa- ja metsätalousministeriö.
- Maa- ja metsätalousministeriö. 2013. Maa- ja metsätalousministeriön asetus puutavaran mittauksen mittausmenetelmäryhmien ja mittausmenetelmien tarkemmasta sisällöstä sekä mittauslaitteiden käytöstä. Nro 12/13. Helsinki: Maa- ja metsätalousministeriö.
- Melkas, T. 2014. Puutavaran mittausmenetelmien osuudet vuonna 2013. Metsätehon tuloskalvosarja 9a/2014. Vantaa: Metsäteho Oy.
- Metsäntutkimuslaitos. 2013. Metsäntutkimuslaitoksen määräys puutavaran mittaukseen liittyvistä yleisistä muuntoluvuista. Määräys 1/2013. Vantaa: Metsäntutkimuslaitos.
- Metsäntutkimuslaitos. 2014. Metsätilastollinen vuosikirja 2014. Vantaa: Metsäntutkimuslaitos.
- Metsäteho. 2013. Mittaus ja laatu. Metsätehon puuhuolto-opas.
<http://www.metsateho.fi/files/metsateho/mittaus/start.html>. 17.2.2015.
- Minkkinen, A. 2013. Hakkuukoneen ja tukkimittarin mittaerot. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Metsätalouden koulutusohjelma. Opinnäytetyö.
- Sipi, M. 2009. Puuraaka-aineen mittaus. Mittausmenetelmät ja niiden perusteet. Metsävarojen käytön laitoksen julkaisuja 44. Helsinki: Helsingin yliopisto.

Männyn tyviprofiilikertoimet

Männyn tyviprofiilikertoimet (%). $D_{1,3}$ = läpimitta 1,3 metrin etäisyydellä kaatoleikkauksesta, cm. (Metsäntutkimuslaitos 2013.)

$D_{1,3}$, cm	Etäisyys kaatoleikkauksesta (L), m													
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3
8	1386	1302	1241	1197	1164	1138	1116	1098	1081	1064	1048	1032	1016	1000
9	1381	1297	1237	1192	1159	1133	1112	1094	1077	1061	1046	1031	1015	1000
10	1375	1293	1233	1188	1155	1129	1108	1090	1074	1059	1044	1029	1015	1000
11	1370	1289	1229	1184	1151	1125	1104	1087	1071	1056	1042	1028	1014	1000
12	1364	1285	1225	1181	1147	1121	1101	1084	1068	1054	1040	1027	1013	1000
13	1358	1281	1222	1178	1144	1119	1098	1081	1066	1052	1039	1026	1013	1000
14	1353	1277	1219	1175	1142	1116	1095	1078	1064	1050	1037	1025	1012	1000
15	1347	1273	1216	1173	1140	1114	1093	1076	1062	1049	1036	1024	1012	1000
16	1342	1270	1214	1171	1138	1112	1091	1075	1060	1047	1035	1023	1012	1000
17	1337	1267	1212	1169	1136	1110	1090	1073	1059	1046	1034	1023	1011	1000
18	1332	1264	1210	1168	1135	1109	1089	1072	1057	1045	1033	1022	1011	1000
19	1327	1261	1208	1167	1134	1108	1088	1071	1056	1044	1032	1021	1011	1000
20	1323	1259	1207	1166	1133	1107	1087	1070	1056	1043	1032	1021	1010	1000
21	1319	1256	1206	1165	1133	1107	1086	1069	1055	1043	1031	1021	1010	1000
22	1315	1254	1205	1165	1133	1107	1086	1069	1054	1042	1031	1020	1010	1000
23	1312	1252	1204	1164	1132	1107	1086	1068	1054	1042	1031	1020	1010	1000
24	1308	1251	1203	1164	1132	1107	1086	1068	1054	1041	1030	1020	1010	1000
25	1305	1249	1202	1164	1132	1107	1086	1068	1054	1041	1030	1020	1010	1000
26	1302	1248	1202	1164	1133	1107	1086	1068	1054	1041	1030	1020	1010	1000
27	1300	1246	1201	1164	1133	1107	1086	1069	1054	1041	1030	1020	1010	1000
28	1297	1245	1201	1164	1133	1108	1086	1069	1054	1041	1030	1020	1010	1000
29	1295	1244	1200	1164	1133	1108	1087	1069	1054	1041	1030	1019	1010	1000
30	1293	1243	1200	1164	1134	1108	1087	1069	1054	1041	1030	1019	1010	1000
31	1291	1242	1200	1164	1134	1109	1087	1070	1054	1041	1030	1020	1010	1000
32	1289	1240	1199	1164	1134	1109	1088	1070	1055	1042	1030	1020	1010	1000
33	1287	1239	1199	1164	1134	1109	1088	1070	1055	1042	1030	1020	1010	1000
34	1285	1238	1198	1163	1134	1109	1088	1070	1055	1042	1030	1020	1010	1000
35	1283	1237	1197	1163	1134	1109	1088	1070	1055	1042	1030	1020	1010	1000
36	1281	1236	1196	1163	1134	1109	1088	1071	1055	1042	1030	1020	1010	1000
37	1279	1234	1195	1162	1133	1109	1088	1071	1055	1042	1030	1020	1010	1000
38	1277	1232	1194	1161	1133	1109	1088	1070	1055	1042	1030	1020	1010	1000
39	1274	1231	1193	1160	1132	1108	1088	1070	1055	1042	1030	1020	1010	1000
40	1272	1228	1191	1159	1131	1107	1087	1070	1055	1042	1030	1020	1010	1000
41	1269	1226	1189	1157	1130	1106	1086	1069	1055	1042	1030	1020	1010	1000
42	1266	1223	1187	1155	1128	1105	1086	1069	1054	1041	1030	1020	1010	1000
43	1262	1220	1184	1153	1126	1104	1084	1068	1053	1041	1030	1019	1010	1000
44	1258	1217	1181	1151	1124	1102	1083	1067	1053	1040	1029	1019	1009	1000
≥45	1254	1213	1178	1148	1122	1100	1082	1066	1052	1040	1029	1019	1009	1000