

Mittausmenetelmien erot männyn tyviosan tilavuuden mittauksessa

Esitutkimusraportti

Jari Lindblad, Jukka Antikainen ja Tapio Wall

Metlan työraportteja / Working Papers of the Finnish Forest Research Institute -sarjassa julkaistaan tutkimusten ennakkotuloksia ja ennakkotulosten luonteisia selvityksiä. Sarjassa voidaan julkaista myös esitelmiä ja kokouskoosteita yms.

Sarjan julkaisut ovat saatavissa pdf-muodossa sarjan Internet-sivuilta.

<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/>
ISSN 1795-150X

Toimitus

PL 18
01301 Vantaa
puh. 029 532 2111
faksi 029 532 2103
sähköposti julkaisutoimitus@metla.fi

Julkaisija

Metsäntutkimuslaitos
PL 68
80101 Joensuu
puh. 029 532 2111
faksi 029 532 2103
sähköposti info@metla.fi
<http://www.metla.fi/>

Tekijät Lindblad, Jari, Antikainen, Jukka ja Wall, Tapio			
Nimeke Mittausmenetelmien erot männyn tyviosan tilavuuden mittauksessa			
Vuosi 2014	Sivumäärä 21	ISBN 978-951-40-2488-7 (PDF)	ISSN 1795-150X
Yksikkö / Tutkimusohjelma / Hankkeet Joensuu / MAT – tutkimusohjelma / Puutavaran määrä ja laadun mittauksen uudet sovellukset ja asiakasratkaisut (3596); Puutavaranmittauksen viranomaistehtävät (3364)			
Hyväksynyt Erkki Verkasalo, professori, MAT-tutkimusohjelman johtaja, 4.8.2014			
Tiivistelmä Hakkuukonemittauksessa runkojen tyvipölkkyjen tyviosan läpimitat määritetään laskennallisesti puulajikohtaisilla tyviprofiilifunktioilla. Tyviosalla tarkoitetaan 1,3 metrin pituista rungonosaa rungon kaatosahauksesta lähtien. Käytännön mittaustoiminnassa on havaittu viitteitä siitä, että tyvifunktiot aiheuttaisivat erityisesti männyllä systemaattista mittausvirhettä. Tässä tutkimuksessa männyn koetyvitukien tyviosien vertailuarvoina käytettävät tilavuudet mitattiin upotusmittauksella. Upotusmittaus toteutettiin upotuspunnituksella punnitsemalla koetyvitukit ilmassa ja tyviosat upotettuina. Lisäksi koetyvitukit mitattiin saksimittauksella ja tyviosien tilavuudet määritettiin tyvifunktioilla. Tyvifunktiolla määritetty tilavuus oli 100 senttimetrin pituisessa tyviosassa keskimäärin 8,0 prosenttia suurempi kuin upotustilavuus. Mittausväliltään tiheällä saksimittauksella määritetty tilavuus oli 5,4 prosenttia suurempi kuin upotustilavuus. Kun nämä erot suhteutettiin kokonaisten pölkkyjen tilavuuksiin, edelliset lukuarvot olivat 2,1 ja 1,4 prosenttia. Tuloksista oli nähtävissä, että leimikoiden välillä on merkittävää eroa tyven muodossa ja edelleen tyvifunktioiden ja upotusmittauksen välisen eron tasossa. Koska koeleimikoita oli vain kolme, vaikuttavat pieni otos ja sattumanvaraisuus koetyvitukkiaineiston perusteella määritettyyn eron keskitasoon. Koetyvitukkiaineistossa havaittu tyvifunktion ja upotusmittauksen ero antoi kuitenkin viitteen siitä, että tyvifunktio tuottaisi systemaattisesti liian suuria tyviosan tilavuuksia.			
Asiasanat mittaus, puutavaranmittaus, tyviprofiilifunktio, tyvifunktio, runkokäyrä, upotusmittaus, hakkuukonemittaus			
Julkaisun verkko-osoite http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2014/mwp303.htm			
Tämä julkaisu korvaa julkaisun			
Tämä julkaisu on korvattu julkaisulla			
Yhteydenotot Jari Lindblad, Metsäntutkimuslaitos, Itä-Suomen alueyksikkö, Yliopistokatu 6, PL 68, 80101 Joensuu Sähköposti: jari.lindblad@metla.fi			
Muita tietoja taitto: Anne Siika/Metla			

Sisällys

1	Johdanto	5
2	Aineistot ja menetelmät	6
	2.1 Koetyvitukki hankinta ja maastotyöt	6
	2.2 Koetyvitukki mittaukset	7
	2.3 Laskentamenetelmät, määritelmät ja määritykset	9
3	Tulokset	10
4	Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset	15
	Lähteet	18
	Liite	20

1 Johdanto

Hakkuukonemittauksessa harvesteripään mittauslaite mittaa rungon läpimittaa ja pituutta jatkuvatoimisesti karsinnan ja katkonnan aikana. Läpimittaa mitataan mekaanisesti rungon pintaa myötäilevillä karsintaterillä tai syöttörullilla, jotka kytkeytyvät läpimitta-anturiin. Pituutta mitataan runkoa vasten pyörivällä, anturiin kytketyllä pituusmittarullalla.

Hakkuukonemittauksessa tyvipölkkyjen tyviosan läpimitat määritetään laskennallisesti puulajikohtaisilla tyviprofiilifunktioilla (jäljempänä *tyvifunktio*) (Metsäntutkimuslaitoksen määräys 1/2013). Tyviosalla tarkoitetaan tässä 1,3 metrin pituista rungonosaa rungon kaatosahauksesta lähtien. Tyvifunktioissa syöttöarvona käytetään rungon 1,3 metrin kohdalta määritettyä läpimittaa.

Läpimitan ja pituuden mittaustietojen ja tyvifunktiolla määritettyjen läpimittojen perusteella koko rungolle muodostetaan yhtenäinen kuvaaja, runkokäyrä. Pölkkyjen tilavuudet saadaan runkokäyrältä määrittämällä tilavuudet lyhyille rungon viipaleille (pituus esimerkiksi 1 cm) ja laskeamalla nämä tilavuudet yhteen.

Hakkuukonemittauksessa tyvifunktioita käytetään edellä kuvatun perusmittauksen lisäksi tarkastusmittauksessa. Manuaalisella saksimittauksella tehtävässä tarkastusmittauksessa tyvipölkkyjen tyviosan tilavuus määritetään ensimmäisen metrin osuudelta tyvifunktiolla. Tästä eteenpäin tarkastusmittaus toteutetaan pätkittäin mittauksena yhden metrin pituisissa pölkynosissa.

Tyvifunktioita laadittaessa Metsäntutkimuslaitos määrittä (vuosi 2003) puulajikohtaiset runkokäyrät, joissa perustana käytettiin Valtakunnan metsien inventoinnin koepuiden mittaustietoja ja Laasasenahon (1982) runkokäyrämalleja. Runkokäyristä tuotettiin kuusi vaihtoehtoista tyviprofiilitaulukkoa, jotka erosivat toisistaan oletetun kannonkorkeuden suhteen. Tyvekkäimmässä vaihtoehdossa kaatosahaus oletettiin tehtävän viisi senttimetriä juurenniskan alapuolelta ja sylinterimäisimmässä vaihtoehdossa kahdeksan senttimetriä juurenniskan yläpuolelta. Metsäteho Oy vertasi tyviprofiilitaulukoita erilliseen kenttäkoeaineistoon. Tyviprofiilitaulukoiden vaihtoehtoista sylinterimäisin vastasi parhaiten kenttäkoeaineiston koetyvipölkkyjen muotoa. Tämän tyviprofiilitaulukon perusteella Metsäteho Oy:ssä laadittiin tyvifunktio.

Tyvifunktiot otettiin käyttöön maa- ja metsätalousministeriön asetuksella vuonna 2006. Tyvifunktioiden käyttöönotto yhtenäisti aiemmin laitevalmistajakohtaisiin menetelmiin perustuneen runkojen tyviosan mittauksen ja tilavuuden määrittämisen. Puutavaran mittauslainsäädännön (laki puutavaran mittauksesta, 414/2013) uudistamisen myötä tyvifunktiot annettiin Metsäntutkimuslaitoksen määräyksellä vuonna 2013 (Metsäntutkimuslaitoksen määräys 1/2013). Tyvifunktiot on esitetty liitteessä. Alkuperäinen määräys on saatavissa viranomaisten määräyskokoelmista.

Käytännön mittaustoiminnassa on havaittu viitteitä siitä, että hakkuukonemittauksessa ja hakkuukoneiden tarkastusmittauksessa käytettävät tyvifunktiot aiheuttaisivat systemaattista mitausvirhettä erityisesti männyllä. Arviot ovat perustuneet sahalaitosten puutavaran vastaanotoissa tukkimittarilla mitattujen tilavuuksien ja hakkuukoneella mitattujen tilavuuksien vertailuihin kokonaisilla puutavaraerillä. Vertailuja on tehty myös määrittämällä tukkien tyviosien tilavuudet tukkimittareilla ja tyvifunktioilla. Rungon tyven muodon ja sen vaihtelun vaikutus hakkuukonemittauksen tuloksiin on todettu myös varhaisemmissa tutkimuksissa (esim. Ala-Ilomäki 1993, Ahonen & Marjomaa 1994, Gjerdrum & Nitteberg 2001, Möller & Arlinger 2007).

Puutavaranmittauksen neuvottelukunnan pyynnöstä Metsäntutkimuslaitos laati tyvifunktioiden korjaustarpeesta lausunnon, joka valmistui kesäkuussa 2012. Lausuntoa varten analysoitiin laaja normaalin puutavaranvastaanoton yhteydessä tukkimittarilla mitattu tukkiaineisto. Tämän lisäksi kerättiin erillinen tutkimusaineisto, jossa koetyvitukit valittiin koeleimikoilta ja kantojen korkeudet todennettiin. Koetyvitukkien tyviprofiilit mitattiin manuaalisella saksimittauksella ja tukkimittarilla, joiden mittaustuloksia verrattiin tyvifunktiolla määritettyihin tyviosan tilavuuksiin. Tämän erillisen tutkimusaineiston analyysin perusteella ei voitu todeta, että tyvifunktiot olisivat virheellisiä. Tuloksissa oli kuitenkin tiettyjä seikkoja, jotka eivät olleet täysin johdonmukaisia. Lisäksi lausuntoa varten tehdyissä tarkasteluissa ei pystytty kattavasti määrittämään syitä laajassa tukkiaineistossa havaitulle tukkimittarimittauksen ja tyvifunktioiden tilavuuserolle.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli

- a) Suunnitella koetyvitukkien mittaamenetelmä (vertailumenetelmä), joka vastaa todellisen kuorellisen tilavuuden määritelmää ja tuottaa tyven tilavuudelle oikeana pidettävän ja todennukaisen tilavuuden vertailuarvon,
- b) verrata vertailumenetelmän ja tyvifunktioiden tuloksia männyn tyviosien tilavuuden määrittämisessä,
- c) verrata vertailumenetelmän ja tarkastusmittauksissa käytävien mittaamenetelmien tuloksia männyn tyviosien tilavuuden määrittämisessä ja
- d) arvioida tyvifunktioiden korjaustarvetta jatkotutkimusten perusteeksi.

2 Aineistot ja menetelmät

2.1 Koetyvitukkien hankinta ja maastotyöt

Koetyvitukkien hankintaa varten valittiin kaksi uudistushakkuuleimikkoa ja yksi harvennushakkuuleimikko Metsäliitto Osuuskunnan normaaleista korjuuseen tulevista leimikoista Joensuun seudulla. Leimikoista Ahveninen (Joensuu, Eno, Ahveninen) oli hyvälaatuinen kivennäismaan uudistushakkuuleimikko, Niva (Joensuu, Hammaslahti, Niva) normaalilaatuinen kivennäismaan uudistushakkuuleimikko ja Sarvinki (Joensuu, Eno, Sarvinki) kivennäis- ja turvemaan järeä harvennushakkuuleimikko.

Koepuut, joista koetyvitukit hakattiin, valittiin ennen korjuun aloittamista 13.–14.11.2013. Koepuiksi valittiin ulkoisesti terveitä, rinnankorkeusläpimitaltaan yli 20 senttimetrin mäntyjä. Koepuita valittiin jokaiselta leimikolta 45 kappaletta, yhteensä 135 kappaletta. Koepuihin maalattiin merkintä rungon ympäri 130 senttimetrin korkeudelle syntypisteestä (maanpinnan tasa). Merkinän perusteella määritettiin kannonkorkeus myöhemmin puukentällä tehtävissä mittauksissa. Koepuita ei numeroitu tai muuten yksilöity (kuva 1).

Koeleimikoilla tehtiin hakkuu 19.–28.11.2013. Koejärjestely käytiin läpi hakkuukoneiden kuljettajien kanssa tarpeellisilta osin ennen hakkuun aloittamista. Kuljettajat ohjeistettiin tekemään normaali hakkuu puuhankinnan edellyttämällä puutavaralajien mitoilla. Merkityistä koepuista ei kuitenkaan tehty tyvileikkoja (tyveys, lumppi). Kuljettajat eivät tienneet tutkimuksen tavoitetta ja tutkimuskysymystä, joten edellytykset mahdollisimman normaaliin työtapaan säilyivät. Koetyvitukit pidettiin erillään metsäkuljetuksessa, ja ne kuljetettiin edelleen omina erinään Stora Enso Oyj:n Uimaharjun tehtaiden puuterminaaliiin. Terminaalissa koetyvitukit varastoitiin leimikkokohtaisina erinä.



Kuva 1. Sarvingin harvennushakkuuleimikko (vas.) ja Nivan uudistushakkuuleimikko (oik.). Koepuut on merkitty 130 senttimetrin korkeuteen syntypisteestä ($D_{1,3}$) maalattulla maalipannalla (kuvat: Jari Lindblad).

2.2 Koetyvitukien mittaukset

Koetyvitukien mittaukset tehtiin Stora Enso Oyj:n Uimaharjun terminaaliassa 12.–13.12.2013. Mittaukset toteutettiin Metsäntutkimuslaitoksen, Stora Enso Oyj:n ja Koneurakointi Mantsinen Oy:n yhteistyönä. Koetyvitukkeja mitattiin Ahvenisen leimikolta 40 kappaletta, Nivan leimikolta 29 kappaletta ja Sarvingin leimikolta 44 kappaletta, yhteensä 113 kappaletta. Kaikista leimikoilla merkityistä koepuista ei hakattu koepölkkyä tai terminaaliin kuljetettu koepölkky ei ollut mittauskelpoinen esimerkiksi runsaan kuoren irtoamisen vuoksi.

Koetyvitukit siirrettiin leimikoittain teloille ja numeroitiin juoksevasti. Koetyvitukien tyviin maalattiin fluoresoivalla merkintäspraymaalilla merkinnät 50, 100 ja 130 senttimetrin etäisyyksille kaatosahauksesta. Maalauksessa käytettiin erityistä sabluunaa (kuvat 2 ja 3).

Koetyvityvitukien tyviosien tilavuudet mitattiin mahdollisimman oikean vertailuarvon saamiseksi upotusmittauksella Uimaharjun terminaaliin upotusaltaassa (kuva 4). Tehdasmittauksessa upotusaltaasta käytetään paino-otantamittauksessa otantaerien kiintotilavuuden ja edelleen tuoretiheyden määrityksessä. Upotusmittaukset toteutettiin kiinnittämällä koukkuvaaka materiaalinkäsittelykoneen kouraan. Koetyvitukien latvapäähän kiinnitettiin ketju, joka kiinnitettiin koukkuvaakaan. Koetyvitukit punnittiin tyviosat upotettuina 50, 100 ja 130 senttimetrin syvyyksissä ja lopuksi ilmassa. Punnitustulokset kirjattiin maastotietokoneella.

Punnituksissa käytettiin kahta samanlaista OCM-M-Series -nosturivaakaa (koukkuvaaka). Vaakojen suurin mitattava kuorma oli 1000 kilogrammaa ja askelarvo 200 grammaa. Ennen mittauksia vaakat oli huollettu ja tarkastettu huoltoliikkeessä.

Upotusmittauksen jälkeen koetyvitukit mitattiin manuaalisella saksimittauksella. Mittauksessa käytettiin Masser Excaliper elektronisia mittasaksia, joihin oli ohjelmoitu erillinen mittausohjelma koemittauksia varten. Läpimitat mitattiin kahdesta mittaussuunnasta (ristimittaus) 10, 20, 50 ja 100 senttimetrin etäisyyksiltä kaatosahauksesta ja kuudesta eri mittaussuunnasta 130 senttimetrin etäisyydeltä kaatosahauksesta ($D_{1,3}$). Tästä eteenpäin tehtiin normaali pätkittäin mittaus mittaamalla läpimitta kahdesta mittaussuunnasta jokaisen täyden metrin pituisen pölkynosan puolivälistä (150 cm, 250 cm, ...) ja latvassa viimeisen pölkynosan pituuden puolivälistä. Lisäksi mitattiin kaatosahauksen ja metsässä 130 senttimetrin korkeudelle merkityn maalimerkin välinen etäisyys, jonka perusteella määritettiin kannonkorkeus.



Kuva 2. Koetyvitukkeihin maalattiin sabluunan avulla upotussyvydet 50, 100 ja 130 senttimetrin etäisyyksille kaotosahauksesta (kuvat: Jari Lindblad).



Kuva 3. Koetyvitukit numeroitiin ja latvapäähän kiinnitettiin ketju ja koukkuvaaka upotusmittausta varten (vas.). Upotusmittauksen jälkeen koetyvitukit mitattiin saksimittauksella (oik.) (kuvat: Jari Lindblad).



Kuva 4. Koetyvitukien tyviosat mitattiin upotusmittauksella upotusaltaassa (kuva: Jani Okkonen/Metla).

2.3 Laskentamenetelmät, määritelmät ja määrietykset

Koetyvipölkkyjen tyviosalle määritettiin tilavuuksia neljällä, ja kokonaisille pölkyille viidellä eri menetelmällä. Menetelmiin liittyvät määritelmät ja määrietykset, mukaan lukien tyviosan tilavuuksien määrietyks, on esitetty seuraavassa.

a) Tukkimittarin tarkastusmittaus (manuaalinen saksimittaus pätikittain, Huberin tilavuus)

Mittausmenetelmää käytetään tukkimittarin kalibroitatarpeen määrietyksessä ja mittaustuloksen tarkastuksessa. Menetelmästä käytetään myös nimityksiä manuaalinen pätikittain mittaus (MMM:n asetus 12/13) tai Huberin tilavuus. Menetelmä on maa- ja metsätalousministeriön asetuksen 12/13 mukainen tarkastuserien mittaukseen sovellettava menetelmä.

Tyviosan tilavuus: Tilavuuden laskenta ensimmäiselle metrille (0–100 cm) lieriön tilavuutena 50 senttimetrin kohdalta saksimittauksella mitatun läpimitan perusteella.

Koko pölkyn tilavuus: Tilavuuden laskenta yhden metrin pituisten pölkynosien tilavuuksien summana. Kunkin pölkynosan tilavuus määrietytään lieriön tilavuutena pölkynosan puolivälistä mitatun läpimitan perusteella.

b) Hakkuukoneen tarkastusmittaus (tyvifunktiot)

Koko pölkyn tilavuuden määrietyksen osalta menetelmä on maa- ja metsätalousministeriön asetuksen 12/13 ja Metsäntutkimuslaitoksen määräyksen 1/2013 mukainen tyvipölkkyjen tarkastusmittauksessa käytettävä menetelmä.

Tyviosan tilavuus (tyvifunktion tilavuus): Tyviosan läpimittojen määrietyks (0–130 cm) tyvifunktiolla käyttämällä syöttöarvona 130 senttimetrin etäisyydeltä kaatosahauksesta ($D_{1,3}$) saksimittauksella mitattujen läpimittojen keskiarvoa (kuusi mittausta). Tilavuuden laskenta katkaistun kartion tilavuuksina yhden senttimetrin pituisille pölkynosille.

Koko pölkyn tilavuus: Tyviosan tilavuuden määrietyks ensimmäiselle metrille (0–100 cm) tyvifunktion tilavuutena, johon lisätään latvaosan (100 cm–) manuaalisen pätikittain saksimittauksen tilavuus (Huberin tilavuus).

c) Tiheä saksimittaus

Tyviosan tilavuus: Tilavuuden laskenta katkaistun kartion tilavuuksina 10, 20, 50, 100 ja 130 senttimetrin kohdista saksimittauksella mitattujen läpimittojen perusteella. Välillä 0–10 senttimetriä tilavuuden määrietyksessä käytetään samaa kapenemaa kuin välillä 10–20 senttimetriä.

Koko pölkyn tilavuus: Tyviosan (0–100 cm) tilavuuden laskenta katkaistun kartion tilavuuksina (ks. ed.), johon lisätään latvaosan (100 cm–) manuaalisen pätikittain saksimittauksen tilavuus (Huberin tilavuus).

d) Upotusmittaus

Upotusmittaukset tehtiin ainoastaan koetyvipölkkyjen tyviosille, latvaosille (100 cm–) tilavuudet pätikittain mittauksen (tukkimittarin tarkastusmittaus) mukaisesti.

Tyviosan tilavuus: Tilavuuksien laskenta punnitustulosten perusteella 50, 100 ja 130 senttimetrin pituisille tyviosille.

Koko pölkyn tilavuus: Tyviosan (0–100 cm) upotusmittauksen tilavuus, johon lisättiin latvaosan (100 cm–) manuaalisen pätikittain saksimittauksen tilavuus (Huberin tilavuus).

3 Tulokset

Koetyvitukkien 130 senttimetrin etäisyydeltä kaatosahauksesta määritetyn läpimitan (koepuiden läpimitta, $D_{1,3}$) keskiarvot ja -hajonnat ja vaihteluvälit leimikoittain on esitetty taulukossa 1. Vastaavat tilastolliset tunnusluvut tiheälle saksimitauksella määritetyille koetyvitukkien tilavuudelle on esitetty taulukossa 2.

Ahvenisen ja Nivan uudistushakkuuleimikot olivat koepuiden läpimitan ($D_{1,3}$) ja koetyvitukkien tilavuuden suhteen samankaltaisia (taulukot 1 ja 2). Koetyvitukkien tilavuuden keskiarvojen ero oli viisi kuutiodesimetriä. Uudistushakkuuleimikoilla läpimitan ja tilavuuden keskihajonnan ja tilavuuden vaihteluvälin perusteella aineisto sisälsi järeydeltään hyvin erilaisia koepuita ja koetyvitukkeja. Sarvingin harvennushakkuuleimikolla koepuiden läpimitan ($D_{1,3}$) keskiarvo, ja samoin keskihajonta ja vaihteluväli olivat selvästi pienempiä kuin uudistushakkuuleimikoilla. Koetyvitukkien tilavuuden keskiarvo oli selvästi pienempi kuin uudistushakkuuleimikoilla.

Taulukossa 3 on esitetty tyvifunktiolla ja upotusmittauksella määritettyjen tilavuuksien suhteellisen eron keskiarvot (suluissa keskihajonnat) tyviosan eri kohdissa leimikoittain. Erot on laskettu suhteessa upotusmittaukseen. Tyvifunktiolla määritetty tilavuus oli tyviosan kaikissa kohdissa ja kaikilla leimikoilla suurempi kuin upotusmittauksen tilavuus.

Koko aineistossa tyviosassa 0–100 senttimetriä tyvifunktiolla määritetyn tilavuuden ja upotusmittauksen tilavuuden eron keskiarvo oli +8,0 prosenttia. Ero oli lähes sama tyviosissa 0–50 ja 50–100 senttimetriä, mutta selvästi pienempi tyviosassa 100–130 senttimetriä, jossa eron keskiarvo oli +4,0 prosenttia. Tyvifunktion ja upotusmittauksen tilavuuden eron keskihajonta vaihteli eri leimikoilla ja tyviosissa välillä 4,7–7,5 prosenttiyksikköä.

Taulukko 1. Koetyvitukkien 130 senttimetrin etäisyydeltä kaatosahaukset mitatun läpimitan ($D_{1,3}$) keskiarvot, keskihajonnat ja suurimmat ja pienimmät arvot leimikoittain.

$D_{1,3}$ *	Leimikko			Koko aineisto
	Ahveninen	Niva	Sarvinki	
	mm			
keskiarvo	305	295	229	273
keskihajonta	62	62	25	62
suurin	438	430	302	438
pienin	197	215	194	194
n, kpl	40	29	44	113

* 130 senttimetrin etäisyys kaatosahauksesta

Taulukko 2. Koetyvitukkien tiheän saksimitauksen tilavuuksien keskiarvot, keskihajonnat ja suurimmat ja pienimmät arvot leimikoittain.

Tilavuus	Leimikko			Koko aineisto
	Ahveninen	Niva	Sarvinki	
	dm^3			
keskiarvo	338	333	188	278
keskihajonta	139	134	44	131
suurin	652	642	333	652
pienin	141	154	126	126
n, kpl	40	29	44	113

Nivan uudistushakkuuleimikolla tyvifunktion ja upotusmittauksen erot olivat selvästi pienempiä kuin Ahvenisen leimikolla. Tyviosassa 0–100 senttimetriä tilavuuden eron keskiarvo oli Nivan leimikolla 3,1 prosenttiyksikköä, tyviosassa 50–100 senttimetriä 1,4 prosenttiyksikköä ja tyviosassa 0–50 senttimetriä 4,3 prosenttiyksikköä pienempi kuin Ahvenisella (taulukko 3). Sarvingin harvennushakkuuleimikolla tyvifunktion ja upotusmittauksen tilavuuden ero oli kaikissa tyviosissa suurempi kuin uudistushakkuuleimikoilla. Tilavuuden ero oli erityisen suuri tyviosassa 0–50 senttimetriä (+10,9 prosenttia) ja tyviosassa 50–100 senttimetriä (+10,3 prosenttia).

Tyvifunktiolla ja tiheällä saksimittauksella määritettyjen tilavuuksien eron keskiarvot (suluissa keskihajonnat) tyviosan eri kohdissa on esitetty leimikoittain taulukossa 4. Tyvifunktion tilavuus oli 2,5 prosenttia suurempi kuin tiheällä saksimittauksen tilavuus tyviosassa 0–100 senttimetriä koko aineistossa. Tyviosassa 100–130 ero oli pieni (+0,1 prosenttia), suurempi tyviosassa 50–100 senttimetriä (+0,5 prosenttia) ja selvästi suurin tyviosassa 0–50 senttimetriä (+4,2 prosenttia). Leimikoiden välillä oli eroa. Nivan uudistushakkuuleimikon koetyvitukeilla tyvifunktion ja tihennetyn saksimittauksen tilavuudet olivat lähellä toisiaan. Ahvenisen uudistushakkuuleimikolla ja Sarvingin harvennushakkuuleimikolla tyvifunktion ja tihennetyn saksimittauksen tilavuuden erot olivat samaa suuruusluokkaa.

Tiheällä saksimittauksella ja upotusmittauksella määritettyjen tilavuuksien eron keskiarvot (suluissa keskihajonnat) tyviosan eri kohdissa leimikoittain on esitetty taulukossa 5. Tyviosassa 0–100 senttimetriä tiheän saksimittauksen tilavuus oli koko aineistossa 5,4 prosenttia suurempi kuin upotusmittauksen. Vastaavat tilavuuserot olivat tyviosissa 0–50 senttimetriä 3,8 prosenttia, 50–100 senttimetriä 7,6 prosenttia ja 100–130 senttimetriä 3,9 prosenttia. Tilavuuseron keskihajonnat olivat kautta linjan pienempiä kuin taulukoissa 3 ja 4 esitetyissä vertailuissa.

Taulukko 3. Tyvifunktiolla ja upotusmittauksella määritettyjen tilavuuksien suhteellisen eron keskiarvot (suluissa keskihajonta) tyviosan eri kohdissa leimikoittain.

Tyviosa, cm	Leimikko			Koko aineisto
	Ahveninen	Niva	Sarvinki	
	%			
0–50	+8,1 (6,4)	+3,8 (7,1)	+10,9 (7,6)	+8,1 (7,5)
0–100	+7,8 (4,6)	+4,7 (5,1)	+10,3 (5,4)	+8,0 (5,5)
0–130	+6,9 (3,9)	+4,4 (4,6)	+9,3 (5,0)	+7,2 (4,9)
50–100	+7,6 (4,5)	+6,2 (6,0)	+9,8 (4,8)	+8,1 (5,2)
50–130	+6,1 (3,1)	+5,1 (4,4)	+8,2 (5,1)	+6,7 (4,4)
100–130	+3,8 (4,8)	+3,5 (5,3)	+4,4 (4,4)	+4,0 (4,7)
n, kpl	40	29	44	113

Taulukko 4. Tyvifunktiolla ja tiheällä saksimittauksella määritettyjen tilavuuksien suhteellisen eron keskiarvot (suluissa keskihajonta) tyviosan eri kohdissa leimikoittain.

Tyviosa, cm	Leimikko			Koko aineisto
	Ahveninen	Niva	Sarvinki	
	%			
0–50	+4,9 (6,0)	+0,6 (7,2)	+5,9 (6,9)	+4,2 (6,9)
0–100	+3,1 (4,5)	-0,4 (5,4)	+3,8 (5,3)	+2,5 (5,3)
0–130	+2,5 (3,8)	-0,4 (4,6)	+3,0 (4,4)	+2,0 (4,4)
50–100	+1,0 (3,4)	-1,4 (4,6)	+1,3 (3,9)	+0,5 (4,1)
50–130	+0,7 (2,6)	-1,0 (3,5)	+0,9 (3,1)	+0,3 (3,1)
100–130	+0,3 (1,5)	-0,2 (1,8)	+0,1 (1,9)	+0,1 (1,7)
n, kpl	40	29	44	113

Taulukko 5. Tiheällä saksimittauksella ja upotusmittauksella määritettyjen tilavuuksien suhteellisen eron keskiarvot (suluissa keskihajonta) tyviosan eri kohdissa leimikoittain.

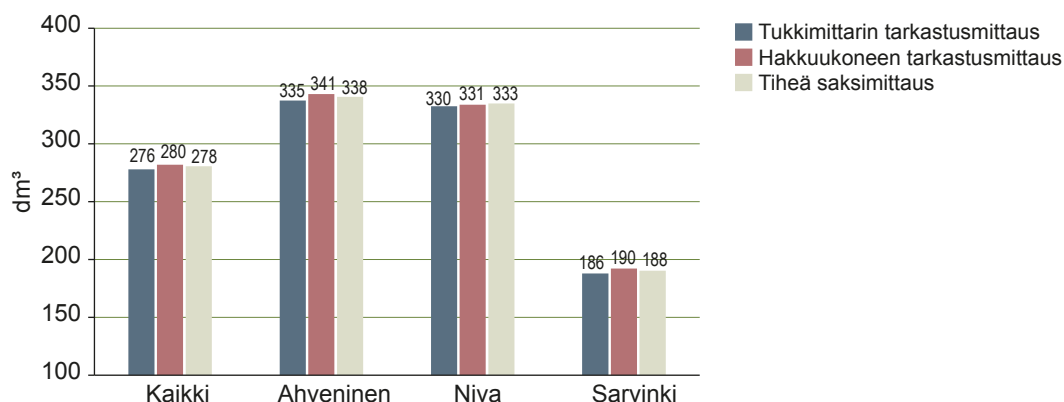
Tyviosa, cm	Leimikko			Koko aineisto
	Ahveninen	Niva	Sarvinki	
		%		
0–50	+3,0 (3,6)	+3,3 (4,5)	+4,8 (3,8)	+3,8 (4,0)
0–100	+4,6 (2,2)	+5,2 (2,8)	+6,3 (2,6)	+5,4 (2,6)
0–130	+4,3 (2,1)	+4,8 (2,4)	+6,1 (2,7)	+5,2 (2,5)
50–100	+6,6 (3,7)	+7,9 (6,5)	+8,4 (3,8)	+7,6 (4,6)
50–130	+5,4 (2,2)	+6,3 (4,4)	+7,3 (4,3)	+6,4 (3,8)
100–130	+3,5 (4,6)	+3,7 (4,7)	+4,4 (4,4)	+3,9 (4,5)
n, kpl	40	29	44	113

Taulukossa 6 on esitetty Huberin tilavuutena määritetyn tyviosan ensimmäisen metrin (0–100 cm) tilavuuden ero tyvifunktion, tiheän saksimittauksen ja upotusmittauksen tilavuuksiin. Huberin tilavuus oli keskimäärin 5,9 prosenttia pienempi kuin tyvifunktion tilavuus, 3,8 prosenttia pienempi kuin tiheän saksimittauksen tilavuus ja 1,4 prosenttia suurempi kuin upotusmittauksen tilavuus. Leimikoiden väliset erot tyven muodossa tulivat hyvin esille Huberin tilavuuden ja tyvifunktion välisessä vertailussa. Huberin tilavuuden vertailussa tiheään saksimittaukseen ja upotusmittaukseen leimikoiden väliset erot olivat selvästi pienempiä. Tämä johtuu siitä, että tässä kaikki vertailtavat tilavuudet perustuivat todellisiin mittauksiin, jolloin leimikoiden ja koepuiden väliset erot tyven muodossa tulivat otetuiksi huomioon. Samasta syystä tilavuuseron keskihajonta oli suurempi Huberin tilavuuden ja tyvifunktion välisessä vertailussa kuin Huberin tilavuuden ja tiheän saksimittauksen ja upotusmittauksen tilavuuden vertailussa.

Kuvassa 5 on esitetty koetyvipölkkyjen tilavuuden keskiarvot mitattuna tukkimittarin tarkastusmittauksella, hakkuukoneen tarkastusmittauksella ja tiheällä saksimittauksella. Mittaukset näillä menetelmillä erosivat toisistaan ainoastaan tyviosan (0–100 cm) mittauksen osalta. Latvaosan tilavuuden määrittäminen perustui samoihin mittauksiin ja samaan laskentamenetelmään, jolloin latvaosan tilavuuksissa ei ollut eroa. Vastaava vertailu on tehty taulukossa 7 mittausmenetelmien suhteellisille tilavuuseroille. Tarkastelussa oli mukana myös upotusmittaus, jonka tilavuudet koko pölkyn osalta perustuvat edellä esitetyllä tavalla tyviosan (0–100 cm) upotustilavuuteen ja latvaosan saksimittaukseen. Tarkastelu kuvaa mittausmenetelmien eroja ja suhteellisen tilavuuseron tasoa tyviosien mittauksessa. Edelleen tarkastelu kuvaa mittausmenetelmien eroja kokonaisten pölkkyjen (tyvipölkkyt) mittauksessa, kun tyviosien mittauksen erot kohdistuvat koko pölkkyjen mittaukseen.

Taulukko 6. Huberin tilavuutena (lieriön tilavuus) määritetyn tilavuuden suhteellisen eron keskiarvot (suluissa keskihajonta) tyvifunktiolla, tiheällä saksimittauksella ja upotusmittauksella määritettyihin tilavuuksiin tyviosan ensimmäisellä metrillä (0–100 cm) leimikoittain.

	Leimikko			Koko aineisto
	Ahveninen	Niva	Sarvinki	
		%		
Huber – tyvifunktio	-6,3 (4,5)	-2,6 (6,0)	-7,7 (4,8)	-5,9 (5,4)
Huber – tiheä saksimittaus	-3,6 (2,3)	-3,2 (3,3)	-4,5 (2,3)	-3,8 (2,6)
Huber – upotusmittaus	+0,8 (2,8)	+1,8 (4,5)	+1,6 (2,8)	+1,4 (3,3)
n, kpl	40	29	44	113



Kuva 5. Koetyvipölkkyjen tilavuuden keskiarvot eri mittausmenetelmillä leimikoittain.

Taulukko 7. Tiheän saksimittauksen, tukkimittarin tarkastusmittauksen, hakkuukoneen tarkastusmittauksen ja upotusmittauksen suhteelliset erot koko aineistossa, kun yksi mittausmenetelmä asetetaan tasoon 100.

	Tiheä saksimittaus	Tukkimittarin tarkastusmittaus	Hakkuukoneen tarkastusmittaus	Upotusmittaus
Taso 100, tiheä saksimittaus				
koko pölkky	100,0	99,0	100,6	98,6 ²⁾
tyviosa ¹⁾	100,0	96,2	102,5	94,9
Taso 100, tukkimittarin tarkastusmittaus				
koko pölkky	101,1	100,0	101,7	99,6 ²⁾
tyviosa ¹⁾	104,0	100,0	106,6	98,7
Taso 100, hakkuukoneen tarkastusmittaus				
koko pölkky	99,4	98,3	100,0	98,0 ²⁾
tyviosa ¹⁾	97,8	94,1	100,0	92,8
Taso 100, upotusmittaus				
koko pölkky	101,4	100,4	102,1	100,0 ²⁾
tyviosa ¹⁾	105,4	101,4	108,0	100,0

1) tyviosa 0–100 senttimetriä

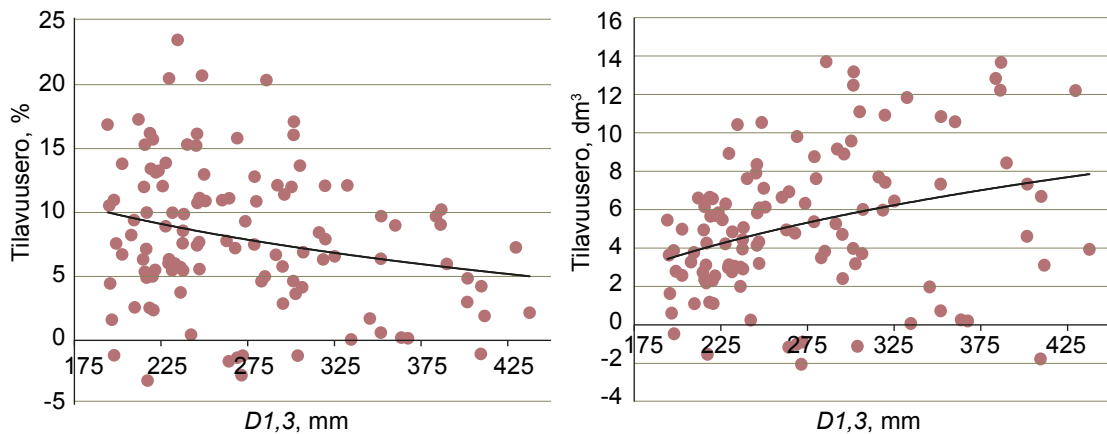
2) tilavuuden määrittäminen, ks. luku 2.3.

Mittausmenetelmien vertailussa upotusmittaus tuotti keskimäärin pienimpiä tilavuuksia. Suuruusjärjestyksessä seuraavat mittausmenetelmät olivat tukkimittarin tarkastusmittaus, tiheä saksimittaus ja hakkuukoneen tarkastusmittaus. Tyviosan (0–100 cm) tilavuuden määrittämisessä mittausmenetelmien eron keskiarvojen vaihteluväli oli 8,0 prosenttiyksikköä (suhteutettuna upotusmittaukseen). Hakkuukoneen tarkastusmittausmenetelmässä tyviosan tilavuus määritetään tyvifunktiolla (ero upotusmittaukseen +8,0 %), tukkimittarin tarkastusmittauksessa keskuslieriön tilavuutena (Huberin tilavuus, ero upotusmittaukseen +1,4 %) ja tätä koetta varten suunnitellussa menetelmässä mittausväliltään tihennetyllä saksimittauksella (ero upotusmittaukseen +5,4 %). Mittausmenetelmien sisältö on tarkemmin esitetty luvussa 2.3.

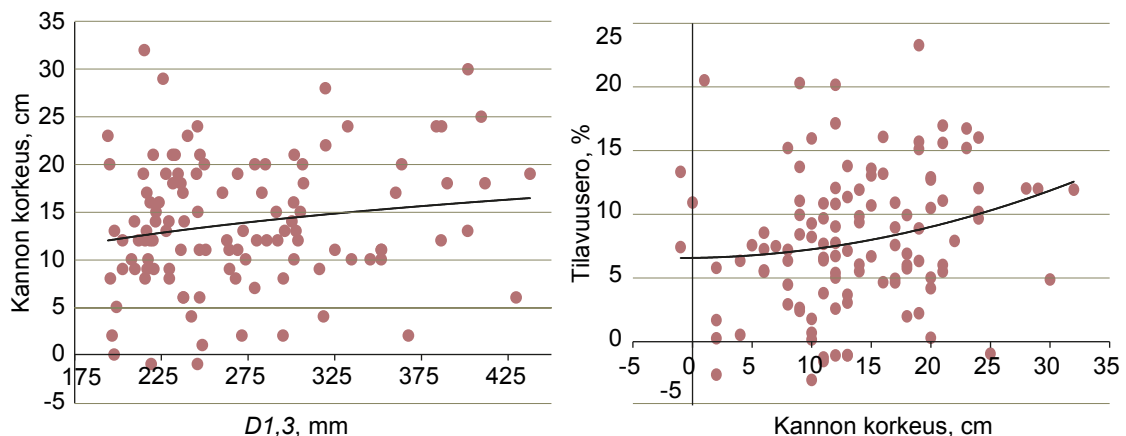
Kohdistettaessa tyviosien mittauksessa syntyvät mittausmenetelmien erot kokonaisille pölkyille, erojen keskiarvojen vaihteluväli oli 2,1 prosenttiyksikköä suhteutettuna upotusmittaukseen. Tukkimittarin tarkastusmittaus oli lähellä upotusmittausta (ero upotusmittaukseen +0,4 %). Hakkuukoneen tarkastusmittauksen ja tukkimittarin tarkastusmittauksen ero oli 1,7 prosenttia.

Kuvassa 6 on esitetty tyviosan (0–100 cm) tyvifunktiolla määritetyn tilavuuden ja upotusmittauksen tilavuuden suhteellinen tilavuusero pölkyyttään 130 senttimetrin etäisyydeltä kaatosahauksesta mitatun läpimitan ($D_{1,3}$) suhteen. Tilavuuseron keskiarvo oli +8,0 prosenttia. Valtaosassa koepölkkyjä tyvifunktiolla määritetty tilavuus oli suurempi kuin upotustilavuus. Suhteellinen tilavuusero laski hienokseltaan läpimitan kasvaessa. Kuvassa 6 on esitetty myös tyvifunktiolla määritetyn tilavuuden ja upotusmittauksen tilavuuden absoluuttinen tilavuusero läpimitan ($D_{1,3}$) suhteen pölkyyttään. Absoluuttisen tilavuuseron keskiarvo oli 5,0 kuutiodesimetriä eron kasvaessa läpimitan suhteen.

Kuvassa 7 on esitetty kannon korkeus koetyvipölkkyjen 130 senttimetrin etäisyydeltä kaatosahauksesta mitatun läpimitan ($D_{1,3}$) suhteen. Kannon korkeuden keskiarvo koko aineistossa oli 13,7 senttimetriä ja se kasvoi rungon järeyden ($D_{1,3}$) kasvaessa. Kuvassa 7 on esitetty myös koetyvipölkkyjen tyviosan (0–100 cm) tyvifunktiolla määritetyn tilavuuden ja upotusmittauksen tilavuuden suhteellinen tilavuusero kannon korkeuden suhteen. Tilavuusero kasvoi hienokseltaan kannon korkeuden kasvaessa.



Kuva 6. Tyviosan (0–100 cm) tyvifunktiolla määritetyn tilavuuden ja upotusmittauksen tilavuuden suhteellinen tilavuusero (vas.) ja absoluuttinen tilavuusero (oik.) $D_{1,3}$:n (läpimitta 130 cm etäisyydeltä kaatosahauksesta) suhteen koepölkyyttään.



Kuva 7. Kannon korkeus $D_{1,3}$:n suhteen (läpimitta 130 cm etäisyydeltä kaatosahauksesta) (vas.) ja tyviosan (0–100 cm) tyvifunktiolla määritetyn tilavuuden ja upotusmittauksen tilavuuden suhteellinen tilavuusero kannon korkeuden suhteen (oik.) koepölkyyttään.

Taulukossa 8 on esitetty tyvifunktiolla ja saksimittauksella määritettyjen läpimittojen suhteellisen eron keskiluvut tyviosan eri mittauskohdissa leimikoittain. Tyvifunktiossa käytettiin lähtöarvona saksimittauksella 130 senttimetrin kohdasta määritettyä läpimittaa ($D_{I,3}$). Siten 130 senttimetrin mittauskohdassa verrattavien mittausmenetelmien arvot ovat täsmälleen samat ja vertailu kertoo tyvifunktion ja koepölkkyjen muodon erosta. 100 senttimetrin mittauskohdassa läpimittojen erot olivat hyvin pieniä. Lähempänä kaatosahausta (50, 20 ja 10 senttimetrin mittauskohdat) sekä läpimittojen eron keskiarvot että keskihajonnat kasvoivat. Taulukossa 9 on esitetty vastaavien läpimittojen absoluuttiset erot. Lähellä kaatosahausta 10 senttimetrin mittauskohdassa läpimittojen eron keskiarvo koko aineistossa oli 7,9 millimetriä.

Taulukko 8. Tyvifunktiolla ja saksimittauksella määritettyjen läpimittojen suhteellisen eron keskiarvot (suluisa keskihajonta) tyviosan eri mittauskohdissa leimikoittain.

Mittauskohta ^{*)} , cm	Leimikko			Koko aineisto
	Ahveninen	Niva	Sarvinki	
	%			
130	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
100	+0,3 (1,5)	-0,1 (1,8)	0,0 (1,8)	+0,1 (1,7)
50	+1,5 (2,4)	-0,4 (3,1)	+1,1 (3,1)	+1,2 (2,8)
20	+2,9 (3,2)	+0,9 (3,5)	+2,1 (3,7)	+2,4 (3,5)
10	+3,0 (3,9)	+0,7 (5,0)	+2,6 (4,7)	+2,7 (4,4)
n, kpl	40	29	44	113

^{*)} etäisyys kaatosahauksesta

Taulukko 9. Tyvifunktiolla ja saksimittauksella määritettyjen läpimittojen absoluuttisen eron keskiarvot (suluisa keskihajonta) tyviosan eri mittauskohdissa leimikoittain.

Mittauskohta ^{*)} , cm	Leimikko			Koko aineisto
	Ahveninen	Niva	Sarvinki	
	mm			
130	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
100	+0,7 (4,6)	-0,9 (5,7)	-0,2 (5,0)	+0,1 (4,9)
50	+4,8 (8,2)	-2,4 (10,2)	+2,1 (9,0)	+3,0 (8,8)
20	+10,0 (10,9)	+2,0 (11,3)	+5,4 (10,7)	+7,0 (10,9)
10	+9,9 (13,3)	+1,5 (17,8)	+6,8 (14,7)	+7,9 (14,2)
n, kpl	40	29	44	113

^{*)} etäisyys kaatosahauksesta

4 Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset

Tämän tutkimuksen keskeisinä tavoitteina oli suunnitella männyn tyviosien mittaukseen mahdollisimman luotettava vertailumenetelmä, verrata eri mittausmenetelmiä tyviosien mittauksessa ja arvioida hakkuukonemittauksen tyvifunktioiden korjaustarvetta jatkotutkimusten suunnittelua varten. Tutkimuksen koeleimikot (3 kpl) olivat normaaleita korjuuseen tulevia leimikoita Joensuu-alueella. Leimikoiden vähäinen määrä ja paikallisuus on otettava huomioon tulosten tarkastelussa ja johtopäätöksissä.

Koepuut valittiin ennen hakkuuta ja merkittiin maalaamalla maalipanta 130 senttimetrin etäisyydelle syntypisteestä. Menettelyllä pystyttiin määrittämään kannonkorkeus myöhemmin terminaalissa tehtävien koetyvipölkkyjen mitausten yhteydessä ja varmistumaan siitä, ettei merkittäviä

tyvileikkoja oltu tehty hakkuun yhteydessä. Kannonkorkeus ja tyvipölkyn kaato- tai katkaisusahauksen kohta ovat keskeisiä tekijöitä arvioitaessa tyvifunktioiden oikeellisuutta.

Kannonkorkeuden keskiarvo oli tässä tutkimusaineistossa noin 14 senttimetriä. Kannonkorkeus oli pienempi kuin aiemmassa Metsäntutkimuslaitoksen lausuntoa varten tehdyssä tutkimuksessa (Hakkuukonemittauksessa..., 2012), jossa kolmella eri uudistushakkuuleimikolla kannonkorkeuden keskiarvot olivat 28, 22 ja 18 senttimetriä. Erot voivat johtua hakkuun toteutuksesta ja hakkuukoneiden kuljettajista aiheutuvista eroista ja myös runkojen järeyseroista eri leimikoilla. Tämän tutkimuksen koepuissa oli vähän korkealle ulottuvia kaatoa haittaavia juurenniskoja. Etenkään Sarvingin harvennushakkuuleimikon koepuissa ei useimmiten ollut mainittavaa juurenniskaa, jolloin kaatosahaus oli tehtävissä lähes maanpinnan tasalta. Syntypisteen määrityksen haasteellisuudesta ja subjektiivisuudesta kertoo se, että muutamissa tapauksissa kannonkorkeudelle saatiin negatiivinen arvo.

Koepölkkyjen tyviosan tilavuuden määrittäminen tehtiin upotusmittauksella (vertailumenetelmä). Mittausmenetelmän sisällön voidaan katsoa vastaavan todellisen kuorellisen tilavuuden määrittelyä. Puutavaran mittausta koskevassa maa- ja metsätalousministeriön asetuksessa (MMM:n asetus nro 12/13) todetaan seuraavasti: ”Jos mitattava suure on todellinen kuorellinen tilavuus (kiintotilavuus), on tarkastuserän mittauksessa käytettävä mittausmenetelmä, joka ei sisällä merkittävää systemaattista virhettä siihen teoreettiseen tilanteeseen verrattuna, että tarkastuserän tilavuus mitattaisiin upottamalla”. Käytännössä tämä kirjaus määrittelee kiintotilavuuden mittauksen oma-valvontaan ja ulkopuoliseen valvontaan sisältyvissä kalibrointimittauksissa, muissa tarkastusmittauksissa ja edelleen perusmittauksessa. Upotustilavuus tarkoittaa sitä, että erityisesti männyn tyviosassa esiintyvät kaarnankolot eivät määritelmätasolla sisälly kiintotilavuuteen.

Koetyvipölkkyjen upotusmittaus toteutettiin upotuspunnituksella. Menetelmästä käytetään myös nimitystä hydrostaattinen mittaus (Kärkkäinen 1984, Sipi 2009). Koetyvipölkkyt punnittiin ilmassa ja tyviosa upotettuina eri upotussyvyksiin. Arkhimedeen lain mukaisesti upotetun tyviosan tilavuus vastaa sen syrjäyttämän veden tilavuutta. Edelleen upotettuun koetyvipölkkyyn vaikuttaa noste, joka vastaa tyviosan tilavuutta. Koska upotus tehtiin vedessä, voidaan olettaa, että yhden kuutiodesimetrin tilavuus vastaa yhden kilogramman nostetta (veden tiheys noin 1000 kg/m³). Lämpötilan vaikutus veden tiheyteen on kyseeseen tulevilla lämpötilan vaihteluvälillä vähäinen. Veden tiheys on lämpötilassa +4 °C 999,97 kg/m³, jolloin tiheys on korkeimmillaan. Lämpötilassa +20 °C tiheys on 998,20 kg/m³ (www.taulukot.com). Veden tiheyden vaihtelusta voi siten aiheutua puutavaran mittauksessa mittausvirhe, jonka arvo on enimmillään noin 0,2 prosenttia. Tässä tutkimuksessa upotusaltaan veden lämpötila oli 3–7 °C. Voidaan sanoa, että veden tiheys oli kokeen aikana vakio.

Punnituksen mittausepävarmuus vaikutti tilavuuden mittaustulokseen molempien punnitusten – ilmassa ja tyvet upotettuna – kautta. Vaa’at oli huollettu ja tarkastettu huoltoliikkeessä ja on syytä olettaa, että niissä ei ollut merkittävää systemaattista virhettä. Vaa’an askelarovasta (0,2 kilogrammaa) ja siihen liittyvästä vaa’an näyttämän pyörityksestä aiheutuu tasajakautunut mittausepävarmuuden tekijä. Tasajakaumasta voidaan määrittää keskihajonta (standardiepävarmuus) jakamalla vaihteluvälin puolikas (0,1 kg) luvulla 1,7 ja edelleen laajennettu mittausepävarmuus kertomalla tämä hajonta kattavuuskertoimella (2). Vaa’an askelarovasta aiheutuva punnituksen laajennettu mittausepävarmuus on siten noin 0,12 kg. Kokeen upotusmittauksessa (hydrostaattinen mittaus) tilavuus määritetään kahden punnitustuloksen erotuksena. Tällöin näiden punnitusten mittausepävarmuudet voidaan yhdistää laskemalla absoluuttiset mittausepävarmuuden arvot neliöllisesti yhteen ja ottamalla tästä arvosta neliöjuuri. Vaa’an askelarovasta aiheutuvaksi tilavuuden määri-

tyksen laajennetuksi mittausepävarmuudeksi saadaan siten 0,17 kg (~0,17 dm³) (Hiltunen E. ym. 2011, Mittausepävarmuus 2013). Pienin tyviosalle määritetty tilavuus (0–50 cm) oli 18,2 kuutiodesimetriä ja suurin (0–130 cm) 234,6 kuutiodesimetriä. Askelarvon suhteellisen mittausepävarmuuden vaihteluväliksi saadaan siten 0,07–0,9 prosenttia mitattavan tyviosan tilavuuden mukaan. Pienillä tyvipölkkyillä epävarmuus on otettava huomioon tulosten arvioinnissa.

Upotussyvyudet merkittiin koetyvipölkkyihin maalaamalla sabluunaa käyttäen. Koska merkintä tehtiin koko ajan samalla menettelyllä, merkinnän paikan virhearviona voidaan käyttää verraten pientä 0,5 senttimetrin laajennettua mittausepävarmuutta (2 x keskihajonta). Varsinaisessa upotusmittauksessa upotussyvyyden toteaminen tehtiin silmävaraisesti materiaalinkäsittelykoneen ohjaamosta käsin. Upotussyvyyden virhearviona maalimerkintään nähden voidaan käyttää yhden senttimetrin laajennettua mittausepävarmuutta (2 x keskihajonta). Kun yhdistetään merkinnän sijainnin ja upotuksen mittausepävarmuudet, saadaan upotussyvyyden laajennetuksi mittausepävarmuudeksi 1,1 senttimetriä. Kun tämä suhteutetaan tavoiteltuihin upotussyvyyksien arvoihin, oli upotussyvyyden suhteellinen mittausepävarmuus 50 senttimetrin tyviosilla 2,2 prosenttia, 100 senttimetrin tyviosilla 1,1 prosenttia ja 130 senttimetrin tyviosilla 0,9 prosenttia. Arvot kuvaavat satunnaista mittausepävarmuutta, upotussyvydessä ei ole syytä olettaa olevan merkittävää systemaattista virhettä.

Yhdistämällä punnituksesta ja vaa'an askelarvosta sekä upotussyvydestä aiheutuvat tilavuuden määrittelyn epävarmuudet, saadaan keskikokoisten 100 senttimetrin tyviosien tilavuuden määrittelyn kokonaisepävarmuudeksi 1,1 prosenttia. Pienillä 50 senttimetrin tyviosilla kokonaisepävarmuus on selvästi suurempi, noin 2,4 prosenttia.

Hakkuukonemittauksen tyvifunktio pyrkii kuvaamaan rungon tyviosan kuorellista ehjäkuorista muotoa ja tilavuutta. Koejärjestelyssä mittaukset tehtiin tehtaan terminaalissa, jolloin koetyvipölkkyjen kuori oli joutunut rasitukselle hakkuun, lähikuljetuksen ja kaukokuljetuksen aikana. Merkittävästi kuoriutuneita koetyvipölkkyjä, joiden kuoriutuminen oli suuruusluokkaa enemmän kuin viidennes kuoren määrästä, ei mitattu. Kuoren puuttumisesta siis aiheutui tyviosien upotusmittauksessa yksittäisillä koetyvipölkkyillä enimmillään noin kahden prosentin systemaattinen virhe ehjäkuoriseen kuorelliseen tilavuuteen verrattuna. Saksimittauksessa pyrittiin ehjäkuorisen kuorellisen tilavuuden mittaukseen. Vastaavasti osassa koetyvipölkkyistä oli pinnassa jäätä, mikä oli upotusmittauksessa päinvastainen systemaattinen virhelähde.

Tyvifunktiolla määritetyn tilavuuden ero tiheällä saksimittauksella määritettyyn tilavuuteen oli verraten pieni. Koko aineistossa tyviosassa 0–100 senttimetriä tyvifunktion tilavuus oli keskimäärin 2,5 prosenttia suurempi kuin tiheän saksimittauksen tilavuus. Mittaukset eivät olleet täysin riippumattomia, sillä tyvifunktion lähtöarvona käytettiin saksimittauksella määritettyä läpimittaa ($D_{1,3}$). Ero kertoo siten tyvifunktion muodosta aiheutuvasta erosta saksimittaukseen verrattuna.

Tiheän saksimittauksen tilavuuden ero upotusmittaukseen oli tyviosassa 0–100 senttimetriä keskimäärin +5,4 prosenttia. Ero viittaa siihen, että saksimittaus soveltuu puutteellisesti kaarnaisten ja usein epäpyöreiden tyviosien mittaukseen. Yhtäläillä kaarnan kohoumat ja urat, kuten usein myös epäpyöreys aiheuttavat yliarviota läpimitan ja edelleen poikkileikkauspinta-alan ja tilavuuden määrittelyyn. Kaarnan vaikutus läpimitaan ja tilavuuteen – kun oikeana verrokkina pidetään upotustilavuutta – on luonnollinen. Sen sijaan epäpyöreiden vaikutus saksimittauksella määritettyyn läpimitaan ja poikkipinta-alan johtuu paitsi mittaussuuntien valinnasta, myös laskentamenetelmästä. Kärkkäisen (1975, 1984) mukaan aidosti satunnaisesti valikoituvilla läpimitan mittaussuunnilla päästään verraten hyvään tulokseen. Mainittakoon, että suurimman ja pienimmän

läpimitan käyttö johti Kärkkäisen (1975) tutkimuksessa 2–3 prosentin yliarvioon poikkileikkauspinta-alan (ympyrän ala) määrittämisessä. Vastaavasti parhaaseen tulokseen päästiin pienimmän läpimitan ja sitä vastaan kohtisuoran läpimitan käytöllä. Tässä tutkimuksessa käytetty läpimittojen ristimitaus vastanee kohtalaisesti satunnaisia mittaussuuntia. Poikkileikkausala muodostuu erilaiseksi laskentamenetelmän mukaan. Mitatuista läpimitoista erikseen määritettyjen poikkileikkausalojen keskiarvo on suurempi kuin näiden läpimittojen keskiarvon perusteella laskettu poikkileikkausala. Pieni, ja tämän tutkimuksen kannalta merkityksetön ero syntyy myös siitä, käytetäänkö läpimittojen keskiarvon laskennassa aritmeettista vai geometrista keskiarvoa. Tiheän saksimitauksessa tilavuuden laskentamenetelmään ei sisälly merkittävää virhelähdettä.

Koko aineistossa tyviosassa 0–100 senttimetriä tyvifunktiolla määritetyn tilavuuden ja upotusmittauksen tilavuuden eron keskiarvo oli +8,0 prosenttia. Eron keskihajonta pölkkyjen välillä oli suuri, mutta ero oli suurella luotettavuudella tilastollisesti merkitsevä. Eron lukuarvo on sinänsä vain suuntaa-antava. Tuloksista on nähtävissä, että leimikoiden välillä on merkittävää eroa runkojen tyven muodossa ja edelleen tyvifunktioiden ja upotusmittauksen välisen eron tasossa. Koska koeleimikoita oli vain kolme, vaikuttaa pieni otos ja sattumanvaraisuus koetyvitukkiaineiston perusteella määritettyyn eron keskitasoon. Koetyvitukkiaineistossa havaittu tyvifunktion ja upotusmittauksen ero antaa kuitenkin viitteen siitä, että tyvifunktio tuottaisi systemaattisesti liian suuria tyviosan tilavuuksia.

Tyvifunktioiden taustalla olevien runkokäyrämallien (Laasasenaho 1982) tutkimusaineistot perustuvat saksimitauksella koepuiden suhteellisilta korkeuksilta mitattuihin läpimittoihin. Tutkimusaineisto oli kerätty vuosina 1968–1972 valtakunnan metsien inventoinnissa alueellisella satunnaisotannalla, jossa otannan perusjoukkona olivat kaikki Suomen männyt, kuuset ja koivut. Tutkimusaineisto koostui 2362 männystä, 1864 kuusesta ja 863 koivusta. Voidaan olettaa, että tuolloin metsiköiden hakkuutavat, ikä ja käsittelyhistoria erosivat nykyisestä siinä määrin, että runkojen tyviosan muoto on saattanut muuttua.

Hakkuukonemittauksen osuus luovutusmittausmenetelmänä oli yksityismetsien pystykaupoissa 97,8 prosenttia ja kaikkien omistajaryhmien puukaupoissa 75,0 prosenttia vuonna 2012 (Melkas 2013). Kotimaisten markkinapuun hakkuiden kokonaismäärä oli tuolloin 51,5 miljoonaa kuutiometriä. Hakkuukonemittauksen merkittävyys huomioon ottaen tämän esitutkimuksen tulos antaa aiheen jatkotutkimukselle, jossa tyvifunktioiden oikeellisuus tarkastetaan ja tarvittaessa korjataan riittävän laajan kokeellisen mittausaineiston perusteella.

Lähteet

- Ahonen O.-P. & Marjomaa, J. 1994. Hakkuukonemittauksen tarkkuus. Metsätehon katsaus 10/1994. 10 s.
- Ala-Ilomäki, J. 1993. Yksioteharvesterin mittaustarkkuuden riippuvuus rungon ominaisuuksista. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 450. 44 s.
- Gjerdrum, P. & Nitteberg, M. 2001. Nøyaktighet ved måling i hogstmaskin. Skogforsk, Norsk institutt for skogforskning. Oppdragsrapport 8–9/01. Ås, Norge. 34 s.
- Hakkuukonemittauksessa käytettävien tyviprofilifunktioiden muutostarpeen määrittäminen. Metsäntutkimuslaitoksen lausunto puutavaranmittauksen neuvottelukunnalle. Dnro 514/62/2012. 8.6.2012.

- Hiltunen, E., Linko, L., Hemminki, S., Hägg, M., Järvenpää, E., Saarinen, P., Simonen, S. & Kärhä, P. (toim.). 2013. Laadukkaan mittaamisen perusteet. Metrologian neuvottelukunta. Mikes, Julkaisu J4/2011. Espoo. 137 s.
- Kärkkäinen, M. 1975. Koivu- ja haapatukkien poikkipinta-alan mittaaminen. Summary: Measurement of the cross-section area of birch and aspen logs. *Silva Fenn.* 9(3): 212–232.
- Kärkkäinen, M. 1984. Puutavaran mittauksen perusteet. Helsingin yliopiston monistuspalvelu. 252 s.
- Laasasenaho, J. 1982. Taper curve and volume functions for pine, spruce and birch. *Seloste: Männyn, kuusen ja koivun runkokäyrä- ja tilavuusyhtälöt.* Helsinki 1982. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 108. 1–74.
- Laki puutavaran mittauksesta 414/2013. Suomen säädöskokoelma. 17.6.2013.
- Maa- ja metsätalousministeriön asetus puutavaran mittauksen mittausmenetelmäryhmien ja mittausmenetelmin tarkemmasta sisällöstä sekä mittauslaitteiden käytöstä. Nro 12/13. Dnro 1323/13/2013. Viranomaisten määräyskokoelma. 17.6.2013.
- Melkas, T. 2013. Puutavaran mittausmenetelmien osuudet vuonna 2012. *Metsätehon tulosalvosarja* 5a/2013.
- Metsäntutkimuslaitoksen määräys puutavaran mittaukseen liittyvistä yleisistä muuntoluvuista. Nro 1/2013. Dnro 498/62/2013. Viranomaisten määräyskokoelma. 27.6.2013.
- Mittausepävarmuus. 2013. SFS-käsikirja 40. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 702 s.
- Möller, J. & Arlinger, J. 2007. Virkesvärdettest 2006 – mättnoggrannhet. Resultat från Skogsforsk Nr. 5/2007. Uppsala, Sverige. 4 s.
- Sipi, M. 2009. Puuraaka-aineen mittaaminen. Mittausmenetelmät ja niiden perusteet. Helsingin yliopisto, Metsävarojen käytön laitoksen julkaisu 44. Yliopistopaino. Helsinki 2009. 152 s.
- internetlähde: www.taulukot.com

LIITE

Hakkuukonemittauksessa käytettävät tyviprofiilifunktiot (Metsäntutkimuslaitoksen määräys 1/2013)

Hakkuukonemittauksessa tyvipölkyn tyviosan läpimitat määritetään laskennallisesti. Tyviosalla tarkoitetaan tässä 1,3 metrin pituista rungonosaa, jonka aloituspiste on rungon kaatoleikkaus.

Tyviosan läpimittojen laskenta tehdään puulajikohtaisia tyvifunktioita tai niitä vastaavia taulukoita soveltaen. Tyviosan tilavuus määritetään näiden laskennallisten läpimittojen perusteella samalla periaatteella kuin muu osa rungosta (maa- ja metsätalousministeriön asetus puutavaran mittauksen mittausmenetelmäryhmien ja mittausmenetelmien tarkemmasta sisällöstä sekä mittauslaitteiden käytöstä, 12/13, kohta 1.1.2.3.).

Hakkuukonemittauksen tarkastuserien mittauksessa tyvipölkkyjen tyviosille sovelletaan samaa läpimittojen laskentaa (0–1,0 m).

Hakkuukonemittauksessa tyvipölkyn tyviosan läpimittojen määrittämisessä käytettävä tyviprofiilifunktio on muotoa:

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

, jossa D_L = läpimitta etäisyydellä L kaatoleikkauksesta, cm
 a_0 .. a_2 = puulajikohtaiset parametrit, joiden arvot saadaan kaavoilla 2–4
 L = etäisyys kaatoleikkauksesta, m
 $D_{1,3}$ = läpimitta 1,3 metrin etäisyydellä kaatoleikkauksesta, cm

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

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

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

$$a_2 = a_{20} + a_{21} \times D_{1,3} + a_{22} \times D_{1,3}^2 \quad (4)$$

, jossa $D_{1,3}$ = läpimitta 1,3 metrin etäisyydellä kaatoleikkauksesta, cm *)
 a_{00} .. a_{22} = puulajikohtaiset parametrit, joiden arvot ovat taulukossa 1

*) Suurimmilla puilla ($D_{1,3} > 45$ cm) tyven suhteellinen muoto oletetaan samaksi kuin 45 cm rungoilla. Tämä toteutetaan rajoittamalla $D_{1,3}$:n maksimiarvoksi 45 (cm) kaavoissa 2–4.

Taulukko 1. Puulajikohtaiset parametrien arvot kaavoihin 2–4.

Puulaji	a₀₀	a₀₁	a₀₂	a₀₃	a₀₄
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
	a₁₀	a₁₁	a₁₂	a₁₃	
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	
	a₂₀	a₂₁	a₂₂		
Mänty	7,70	- 0,233	0,003056		
Kuusi	12,65	- 0,556	0,008019		
Koivu	8,85	- 0,300	0,004027		