

Jyri Pylkkänen

Hakkuukoneen ja tukkimittarin tilavuuserot kuusen sorvitukissa

Opinnäytetyö
Metsätaloudenkoulutusohjelma

2017



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tekijä	Tutkinto	Aika
Jyri Pylkkänen	Metsätalousinsinööri	Helmikuu 2017
Opinnäytetyön nimi		37 sivua
Hakkuukoneen ja tukkimittarin tilavuuserot kuusen sorvitukissa		3 liitesivua
Toimeksiantaja		
Janne Kukkura, UPM metsä		
Ohjaaja		
Timo Leinonen		
Tiivistelmä		
<p>Hakkuukonemittaus on yleisin käytettävissä oleva puutavaran mittausmenetelmä Suomessa. Mitattavat puumäärät ovat suuria, mistä syystä mittatarkkuuden merkitys kasvaa. Opinnäytetyön aiheena olivat hakkuukonemittauksen ja tehdasmittauksen väliset tilavuuserot kuusen sorvitukeissa ja niihin vaikuttavat tekijät. Työn teoriaosuudessa esitellään puuraaka-aineen mittauksessa käytettävät mittausmenetelmät ja mittausta koskeva lainsäädäntö.</p> <p>Työ toteutettiin toimeksiantona UPM Metsälle ja tutkimuksen aineisto kerättiin Mikkelin alueelta yhteistyössä UPM:n hakkuukoneyrittäjien ja UPM:n Pelloksen havuvaneritehtaan mitta-aseman kanssa.</p> <p>Tutkimukseen valittiin kahden korjuusuunnittelijan toimialueelta yhteensä 12 sorvileikkokkoa, jotka hakattiin kymmenellä eri hakkuukoneella. Hakkuukoneiden mittaustuloksia verrattiin tehdasmittauksen tuloksiin. Tuloksien vertailussa havaittiin tilavuuserot kuutiometreissä hakkuukonemittauksen ja tehdasmittauksen välillä. Tutkimuksen tuloksien perusteella mittaustarkkuus oli puutavaramittauslain määrittelemän ± 4 % tarkkuuden sisällä. Keskimääräinen tilavuusero tämän tutkimuksen aineiston perusteella oli 1,9 %.</p> <p>Toimeksiantaja voi hyödyntää tutkimuksen tuloksia kokonaisuudessaan. Tuloksien avulla voidaan estää systemaattisia tilavuuseroja ja vaikuttaa niihin johtaviin tekijöihin, jolloin mittaustyön laatu yhtenäistyy ja paranee.</p>		
Asiasanat		
Puutavaranmittaus, hakkuukonemittaus, tehdasmittaus, tilavuuserot		

Author	Degree	Time
Jyri Pylkkänen	Forestry	February 2017
Thesis Title		37 pages
The differences between measuring spruce timber and its volume with a harvester and at plywood mill		3 pages of appendices
Commissioned by		
Janne Kukkura, UPM metsä		
Supervisor		
Timo Leinonen		
Abstract		
<p>Harvester measurement is the most used method to measure the timber in Finland and the quantities (in timber volume) are large. For this reason, the measurement accuracy is an important thing. The aim of this thesis was to investigate differences in measuring spruce timber and its volume between harvesters and the Pellos plywood mill. The theory were reviewed the timber measurement methods used by the harvesters and plywood mill and the laws related to the timber measurement part.</p> <p>The study was made in co-operation with UPM metsä, harvester entrepreneurs and the Pellos plywood mill. The data used in the thesis was collected in the Mikkeli area. 12 forests to be cut were selected and they were logged with different harvesters. Harvesters' volumes were compared with plywood mill results and differences could be noticed in cubic meters.</p> <p>The result of the study was that the differences between these two measurement methods were within the allowed $\pm 4\%$ range, which is defined in the law of timber measuring. The average measurement difference in the volume between the two procedures was 1.9 % in this sample.</p> <p>The client of the study can fully utilize the results in their procedures. These results can be used to prevent the systematic volume differences and the factors causing them, which leads to an improvement in the measurement quality.</p>		
Keywords		
Timber measurement, harvester measurement, plywood mill measurement, volume differences		

SISÄLTÖ

Kuvailulehdet

1 JOHDANTO	1
2 PUUTAVARANMITTAUS	1
2.1 Puutavaranmittauksen merkitys	1
2.2 Puutavaranmittauksen historiaa	3
2.3 Keskeinen lainsäädäntö	4
2.4 Virallinen mittaus	5
3 HAKKUUKONEMITTAUS	6
3.1 Hakkuukonemittauksen merkitys	6
3.2 Hakkuukonemittauksen lainsäädäntö	8
3.3 Hakkuukoneen tekniikka	8
3.4 Tyvipölkyn tilavuudenlaskenta	12
3.5 Katkonnanohjaus	12
3.6 Mittausvirheeseen vaikuttavia tekijöitä	14
3.7 Mittaustarkkuuden ylläpito	16
4 TEHDASMITTAUS	18
4.1 Tehdasmittauksen mittausmenetelmä, valvonta ja lainsäädäntö	18
4.2 Pelloksen tehdas	20
5 TUTKIMUSAINEISTO JA MENETELMÄT	22
5.1 Tutkimuksen aineisto	22
5.2 Tutkimuksen tarkoitus, tavoitteet ja tutkimuskysymykset	22
5.3 Aineiston kokoaminen	23
5.3.1 Aineiston perustiedot	23
5.3.2 Päivittäisrunkoaineisto	24
5.3.3 Tilavuuseroaineisto	24
6 TULOKSET	25
6.1 Hakkuukonemittauksen ja tehdasmittauksen tilavuuserot	25
6.2 Tilavuuseroihin vaikuttavat tekijät	27
7 POHDINTA	32
7.1 Luotettavuus	32
7.2 Johtopäätökset ja jatkotutkimusehdotukset	35
LÄHTEET	36
LIITTEET	38
1 Tyviprofiili kertoimet kuusi	38
2 Esimerkki hakkuukoneen mittaustuloksesta	39
3 Esimerkki tehtaan mittaustuloksesta	40

1 JOHDANTO

Työn tarkoituksena oli selvittää hakkuukonemittauksen ja tehdasmittauksen tilavuuseroja. Työssä esitellään mittausmenetelmät, puutavaranmittauslaki, aineistot ja tutkimuksen tulokset. Työ on tehty UPM:lle toimeksiantona, yhtiölle tilavuuserojen minimointi on taloudellisesti merkittävä tavoite. Tilavuuseroja ja niihin johtavia syitä selvitetään ja korjataan, olipa vika mittauslaitteessa tai työskentelytavassa.

Yhtiön sisällä on herättänyt kummastelua, miksi eri alueilta tulevilla erillä on toistuvasti samankaltaisia tilavuuseroja erien mittaus tuloksissa. Opinnäytteen tarkoituksena oli selvittää tilavuuserojen määrää, suuntaa ja syitä. Samalla analysoitiin päivittäisrunkoaineistoa ja verrattiin aineistoja keskenään. Tutkimus toteutettiin syksyllä 2016 yhteistyössä UPM Mikkelin alueen korjuuesimiehien, UPM:n yrittäjien ja Pelloksen havuvariterihtaan mittausaseman työntekijöiden kanssa. Opinnäytetyön tilaajat voivat käyttää tutkimuksessa saatuja tuloksia opinnäytteen tavoitteen mukaisesti mittaustarkkuuden kehittämiseen.

Tilavuuserot ovat yhtiötä kiinnostava aihe, koska pienetkin systemaattiset tilavuuserot puuerissä voivat puuraaka-aine määriin suhteutettuna olla varsin suuria. Tilavuuseroista johtuvat taloudelliset vaikutukset voivat isossa puuraaka-aine virrassa kohota äkkiä suuriksi.

2 PUUTAVARANMITTAUS

2.1 Puutavaranmittauksen merkitys

Puutavaranmittaus on merkittävä ja tärkeä osa puutuoteteollisuudessa. Mittausta tarvitaan useassa eri vaiheessa puun matkalla metsästä loppukäyttäjälle. Puutavaranmittaus on haastavaa, johtuen mitattavan puuraaka-aineen laadusta, olosuhteista ja kertaluon- toisuudesta. Mittauksesta riippuvaisia työvaiheita ovat mm. puunhankinnan, logistiikan ja tehtaan prosessien valvontatehtävät ja suunnittelu. (Kiviniemi 2015, 615.)

Puuston tilavuus on tärkeä tieto, koska puutavarasta maksetaan mitatun tilavuuden mukaan sovittu korvaus puiden myyjälle. On molempien kaupan osapuolien etujen mukaista mitata puusto tarkkaan. Pituuden oikea katkenta on tärkeää, jotta sahalla pystytään suunnitelman mukaisesti jalostamaan raaka-aine lopputuotteeksi. (Sipi 2009, 12.)

Puutavaranmittauksella pyritään saamaan oikea käsitys puun määrästä ja laadusta. Suomessa puun tilavuus mitataan yleensä kuorellisesta raaka-aineesta. Puutavaran tilavuus mitataan joko kuorellisena tai kuorettomana toimijasta riippuen. Raaka-aineen määrä kuvataan yleensä kiintokuutiometrillä m^3 (myös irtokuutiometri, $i-m^3$ tai massalla kg/tn). (Sipi 2009, 12.)

Puu voidaan mitata tuotantoketjun aikana eri mittausmenetelmillä, kuten hakkuukonemittauksella, kuormatraktorin ja kuorma-auton kuormainvaakamittauksella, tien varressa tehtävällä pinomittauksella sekä tehtaalla tehdasmittauksella (kuvio 1). Mittaus tuloksen kontrolloinnin takia puutavaraerä voidaan mitata useammassakin vaiheessa. Tehdasmittaus on menetelmistä ainoa, jonka jälkeen mittausta ei jälkeinpäin voi suorittaa uudelleen. (Kiviniemi 2006, 350.)

Mittaustapahtuman valvonnalla voidaan havaita ja korjata mahdollisia mittausvirheitä esimerkiksi hakkuukoneen mittauslaitteen toiminnassa. Eri mittausmenetelmät ja useampi mittauskerta kuitenkin lisäävät mittausepävarmuutta, esimerkiksi puun kulumisen takia. Mitä isommissa erissä raaka-aine mitataan, sen tarkemmiksi mittausmenetelmät käyvät, sillä virhemarginaali pienenee ja menetelmän tarkkuus paranee. (Kiviniemi 2006, 350.)

Puutavaranmittauksessa on aina mittausmenetelmän, olosuhteiden ja mittauksen suorittajasta johtuvia muuttujia. Tätä kutsutaan mittausepävarmuudeksi. Mittausmenetelmät antavat lähes aina toisistaan eroavia tuloksia (Kiviniemi 2006, 351). Puutavaranmittaus on aina arvioinnintapaista toimintaa, johtuen useista muuttujista jotka aiheuttavat mitauksissa eroja, vaikka ne on aivan oikein tehty. Tilavuusero muuttuu melkein aina, vaikka mittaus tehdään uudelleen samalla menetelmällä ja samoissa olosuhteissa. Myös eri mittausmenetelmien välillä on eroavaisuuksia. Puukauppaa tehdessä tulee valita mittausmenetelmä, jota kussakin tapauksessa noudatetaan. (Kiviniemi 2004, 582–583.)

Mittaukset voidaan jakaa kolmeen luokkaan; luovutusmittaukseksi, työmittaukseksi ja urakointimittaukseksi mittauksen käyttötarkoituksen mukaisesti. Luovutusmittauksella tarkoitetaan mittausta, jonka perusteella metsänomistajalle korvataan hakatun puuaineksen mukainen arvo. Työmittauksella ja urakointimittauksella tarkoitetaan hakkuupalkkojen ja urakkamaksujen maksuun tarkoitettua mittausta. Käytännössä molemmat mittaukset tarkoittavat samaa eli mittausta tehdään yleensä hakkuukonemittauksella, jonka perusteella määritetään kyseiset hinnat. (Kiviniemi 2006, 350.) Työmittauksessa sopivat keskenään työnsuorittaja ja työnantaja kun taas urakointimittauksesta urakoitsija ja urakanantaja. Osapuolet voivat sopia, mahdollisista muutoksista mittausperusteen määrittämiseen. Luovutusmittausta voidaan käyttää urakointimittauksena tai työmittauksena halutessa. (Melkas & Poikela 2015.)

2.2 Puutavaranmittauksen historiaa

1980-luvulla puutavara mitattiin pääasiassa tienvarsivarastolla tai metsässä pystymittalla. Mittausmenetelmät ovat erittäin työllistäviä, aikaa vieviä ja melko epävarmoja mittausmenetelmiä. Kyseisten tapojen mittaustarkkuus oli erittäin epävarmaa, mutta toki suuntaa antavia. Työllistävyyttä kuvaa, että mittauksen toteutti kuusi henkinen mittausryhmä jonka tehtävä oli mitata ainoastaan pystymittaa. Mittaamista on tästä pyritty kehittämään ja nopeuttamaan erilaisin menetelmien ja laitteiden avulla. Ensimmäisiä elektronisia mittavälineitä olivat mm. elektroninen tarkkuusmittalaite (mittasakset), jota käytettiin juuri pystymitan ja pinomitan tehostamiseksi. Tämän ansiosta mittaukset pystyttiin tekemään parityöskentelynä tai jopa yksin. (Sipi 2009, 109.)

Ennen konehakkuuta puuston mittaaminen automatisoidun järjestelmän avulla on ollut mahdollista tehdasympäristössä. Olosuhteet aiheuttavat paljon muuttujia mittaamiseen, jotka oli ratkaistava ennen hakkuukonemittauksen käyttöönottoa. Oli alusta asti selvää, että konehakkuu olisi kustannustehokkain mittausmenetelmä, koska mittausta tehdään samalla normaalien hakkuutyön ohessa. (Sipi 2009, 109.)

1990-luvulta alkaen tietokoneiden kehitys mahdollisti monien hakkuuta ja logistiikkaa helpottavien sovelluksien tulon. Myös mittauslaitteiston kehittyminen on seurausta tietokoneiden kehityksestä. Ensimmäiset hakkuukoneiden mittalaitteet kykenivät mittaamaan vain pituutta, josta toki oli apua tukin katkonnassa. Seuraavan sukupolven koneet pystyivät mittaamaan myös tilavuutta. Tilavuuden mittaustapa oli silloin sovellettu pinnomittauksessa käytettävästä mittaustavasta eli latvakiintomittauksesta. Mittaustavalla pystyttiin parhaimmillaan $\pm 4\%$ mittaustarkkuuksiin, mutta etenkin kuiturunkojen tilavuuden mittaaminen tuotti suuria ongelmia. (Sipi 2009, 110–111.)

Samaan aikaan tehtailla alettiin vaatia tavaralaji kohtaista tukin katkontaa, jotta jalostaminen lopputuotteeksi helpottuisi. Tähän kehitettiin ensimmäisiä optimointi järjestelmiä. Kuitenkin optimaalisen katkonnan onnistuminen tuotti ongelmia, kun ei osattu ennustaa rungon pienenemistä. Vaihtoehtona oli ajaa koko runko latvaan asti, läpimittojen saamiseksi. Tämä vaihtoehto olisi kuitenkin hidastanut työskentelyä jopa kolmasosan. Optimaalinen katkonta ratkaistiin ns. runkokäyrillä, joiden avulla ennustettiin puun kapeneminen. (Sipi 2009, 111–112.)

2.3 Keskeinen lainsäädäntö

Puutavaranmittauksesta on säädetty laissa vuodesta 1939 asti. Lakia on muutettu tämän jälkeen muutamaan otteeseen ja viimeisin päivitys on vuodelta 2013. Puutavaranmittauslain tarkoituksena on taata käytettävien menetelmien ja laitteiden antamien tuloksien luotettavuus. Puutavaranmittauslaissa puutavaranmittauksella tarkoitetaan jalostamattoman puutavaran määrän ja laadun mittaamista kauppahinnan, palkan tai urakointimaksujen määrittämistä varten. (Laki puutavaran mittauksesta 414/2013.)

Puutavaranmittauslaki ja sen asetukset määrittävät kuinka paljon ja tarkkaan puutavara on mitattava. Systemaattisen virheen mahdollisuus on pyrittävä poistamaan jatkuvan seurannan avulla. Mittausmenetelmien tarkkuudeksi on määritelty hakkuukonemittauksen osalta $\pm 4\%$, tehdasmittauksen osalta $\pm 2\%$. Mittaustarkkuus koskee yli kymmenen kuution puutavaraeriä. Muiden osalta mittauksen tarkkuus on määritelty mittauserän

koon mukaisesti. (Laki puutavaran mittauksesta 414/2013.) Monesti yritysten oma mittatarkkuus on paljon parempi, koska mittausvirheistä syntyy nopeasti suuriakin tappioita isoissa puutavaramäärissä.

Lain puutavaranmittauksesta (414/2013) mukaan mittauksissa käytettävien laitteiden on oltava käyttötarkoituksen mukaisessa käytössä. Mittaustapahtumaa, mittauslaitteiden toimivuutta ja niiden tarkkuutta on valvottava ulkopuolisen tahon toimesta ja oma-valvonnalla. Kun ilmenee mittausta tai laatua koskevaa erimielisyyttä, kutsutaan virallinen mittaaja paikalle asian ratkaisemiksi.

Puutavaranmittauslakia sovelletaan vain Suomen sisäisessä puuliikenteessä. Laki koskee pyöreän puutavaran mittaamista sekä yli 20 i-m³ hakkeen tai sahapurun mittaamista. Polttopuu ei kuulu lain soveltamisalaan. Puutavaranmittauslaki on pohjana luovutusmitan, työmitan ja urakkamitan mittaukselle. Käytettävä mittaustapa puukaupoissa määritetään puukaupan yhteydessä tehtävällä puukauppasopimuksella. Puukauppasopimuksessa määritetään myös mittaukselle olennaiset mitta ja laatuvaatimukset. Lain ulkopuolelle jää ulkomaille vietävä ja sieltä Suomeen tuotava puuraaka-aine. (Laki puutavaran mittauksesta 414/2013.)

2.4 Virallinen mittaus

Virallinen mittaaja valvoo mittausmenetelmien, laitteiden sekä tuloksien pitävyyttä ja toimivuutta lainsäädännön mukaisesti. Lisäksi virallisen mittaajan tehtävänä on neuvoa ja ohjata mittaustapahtumaan liittyvissä asioissa. Suomessa toimii kaksi Luonnonvarakeskuksen (LUKEN) virallista mittaajaa, jotka toimivat ministeriön alaisuudessa. (Laki puutavaran mittauksesta 414/2013.)

Virallinen mittaus suoritetaan, mikäli erimielisyyttä mittatuloksesta tai ajankohdasta ilmenee. Virallinen mittaaja tulee mittauspaikalle vain pyydettyä. Mittaaja voidaan kutsua aina erimielisyyksiin johtaneissa tilanteissa. Hyväksytyä mittaustodistusta ei voi enää riitauttaa. Virallinen mittaaja on kutsuttava paikalle neljäntoista päivän kulu-

essa työmittauksesta. Virallinen mittaaja mittaa puutavaraerän osapuolien sopimuksessa sovitun mittausmenetelmän mukaan. Sovitun mittausmenetelmän on sovelluttava kyseisen erän mittaukseen. (Laki puutavaran mittauksesta 414/2013.)

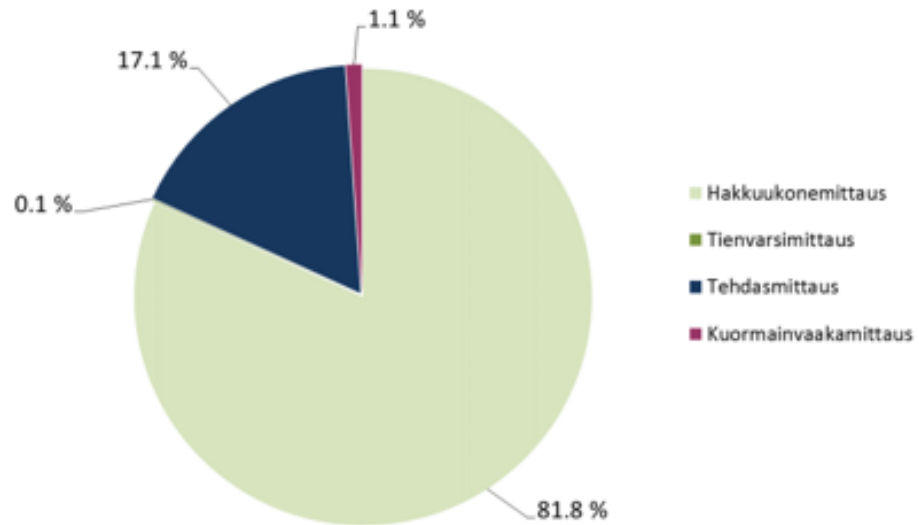
Jos virallisen mittaajan mittauksen jälkeen ilmenee epäselvyyttä, viedään tapaus mittauslautakunnan käsittelyyn. Mittauslautakunta koostuu puheenjohtajasta, vähintään kahdesta ja enintään kuudesta vaihtuvasta jäsenestä. Mittauslautakunnan päätökseen tyytymätön voi viedä asian kyseisen alueen hallinto-oikeuteen ja hallinto-oikeuden päätöksestä voi lain mukaan valittaa edelleen korkeimpaan hallinto-oikeuteen. Lähtökohteisesti tapaukset pyritään sopimaan paikallisesti ilman viranomaisia. (Laki puutavaran mittauksesta 414/2013.)

Maksu virallisen mittauksen toimittamisesta on 500 €, valvontamittauksesta peritään 780 € ja mittauslautakunnan käsittelystä peritään 1000 € (Suomen säädöskokoelma 2015 Nro.1486/2015). Virallisen mittauksen aiheuttamat työkustannukset jaetaan virallisen mittaajan määräyksien mukaisesti. Jos toinen osapuoli on jättänyt saapumatta mittaukseen, siirtyvät kustannukset hänen maksettavaksi. Alkuperäisen mittauksen ollessa oikea, kustannukset siirtyvät mittausta pyytäneen osapuolen maksettavaksi. (Laki puutavaran mittauksesta 414/2013.)

3 HAKKUUKONEMITTAUS

3.1 Hakkuukonemittauksen merkitys

Hakkuukonemittaus on ylivoimaisesti käytetyin puuraaka-aineen mittausmenetelmä. Jopa 81,8 % vuoden 2015 aikana hakatuista pystykaupoista on mitattu hakkuukonemittauksella (kuvio 1). (Melkas 2015.)



KUVIO 1. Luovutusmittausmenetelmien prosenttiosuudet Suomen pystykau-poissa 2015 (Melkas 2015).

Hakkuukonemittauksen käyttöä puoltavat edut ovat selkeät. Hakkuun yhteydessä voidaan mitata puut yksitellen, nopeasti ja tarkasti. Hakkuukonemittausta käyttämällä puun liikkuminen metsästä tehtaalle tehostuu valtavasti verrattuna muihin mittausmenetelmiin. Hakkuukonemittaus takaa kaikkien katkaistujen pölkkyjen mittauksen ja kirjauksen luovutusmittaustodistukseen. Mitatessa hakkuukoneen mittalaitteella saadaan heti ns. työmittaus korjuutaksojen määrittämiseksi sekä luovutusmittaus, jolloin metsänomistaja saa tulonsa metsästä nopeasti. Lisäksi hakkuukonemittaus pienentää kustannuksia ja vapauttaa metsätoimihenkilöiden resursseja muihin tehtäviin. (Uusitalo 2003, 152.)

Hakkuukonemittaus mahdollistaa samalla tehokkaan varastojen ja puutavaralogistiikan hallinnan, sillä järjestelmässä on reaaliaikainen tieto varastojen puumäärästä. Tämä helpottaa puutavaralajien ohjausta nopeammin oikeille tehtaille jalostusta varten. Puutavara-autonkuljettaja voi reaaliaikaisen ajoneuvosovelluksen -sovelluksen avulla nähdä milloin puuta on aloitettu kuljettamaan hakkuulta tienvarsivarastoon. Hakkuukonemittaus mahdollistaa myös korjuun suoraan puutavaralajeittain oikeilla tehtaiden vaatimilla mitoilla. (Uusitalo 2003, 152.)

3.2 Hakkuukonemittauksen lainsäädäntö

Puutavaranmittauslaissa määritellään käytettävien mittauslaitteiden ja menetelmien mitaustarkkuus, johon käytettävien laitteiden on päästävä olosuhteista riippumatta. Puutavaranmittauslaki vaatii myös kontrolloimaan käytettäviä menetelmiä ja laitteita. Tarkastusmittauksia on suoritettava jatkuvasti työnsuorittajan ja ulkopuolisen toimijan toimesta. (Maa- ja metsätalousministeriön asetus Nro. 12/13.)

Mittauslaitteen tulee täyttää lain vaatimukset tarkkuudesta ja katkoa pölkyt sovittujen mitta- ja laatuvaatimusten mukaan, kaikissa olosuhteissa. Mittauslaitteen tulee mitata tilavuudet ja tallentaa tulokset $0,001 \text{ m}^3$:n tarkkuudella. Mittauslaitteen tulee mitata läpimitta 1 mm tarkkuudella ja pituus 1 cm tarkkuudella. Tyvipölkkyy mitataan annettua tyvifunktiota käyttäen 1,3 m etäisyydeltä kaatosahauksesta (liite 1). Otantarunkoja on mitattava sattumanvaraisesti 2-3 päivän välein. (Maa- ja metsätalousministeriön asetus Nro. 12/13.)

Puunkorjuuyhtiön tulee mitata kontrolliotanta vähintään kaksi kertaa vuodessa tai jonkun asianomaisen, esimerkiksi myyjän niin vaatiessa. Kontrollierän koko on oltava vähintään 30 pölkkyyä niin, että mukaan tulevia puutavaralajeja (kuitu, tukki) on mittauksessa mukana vähintään kymmenen kappaletta. Mittaustuloksen ero hakkuukoneen antamiin arvoihin saa olla enintään $\pm 4 \%$. Ellei tämä ehto täyty, pitää koneeseen tehdä tarpeellinen kalibrointi mittaustuloksen säätämiseksi. Kalibroinnin jälkeen mitaus on suoritettava uudelleen. Tarkastusmittaustuloksia on säilytettävä vähintään kaksi vuotta, jotta tarvittaessa tulokset ovat todettavissa. Asianomaiset voivat seurata tarkastusmitausta ja osallistua tarkastukseen sovitulla tavalla. (Melkas & Poikela 2015.)

3.3 Hakkuukoneen tekniikka

Hakkuukoneen mittauslaitteelta vaaditaan paljon. Mittauslaitteen on pystyttävä mittaamaan rungon läpimittaa ja pituutta. Näistä tiedoista on johdettava rungolle tilavuus $0,001 \text{ m}^3$ tarkkuudella. Jokaisen rungon tiedot tulee tallentaa muistiin määrättyksi ajaksi, jotta puun alkuperä voidaan todistetusti selvittää. Hakkuukoneesta on pystyttävä tarvittaessa tulostamaan mittaustiedot paperiseksi versioksi. Koneen on itse pidettävä huolta

toimivuudesta ja tarkkuudesta ehdottamalla kuljettajalle päivittäisrunkojen ottamista. Kaikki tiedot on tallennettava koko erän ajalta ja pystyttävä tulostamaan luovutusmitausta ja muuta lähempää tarkastelua varten. (Kiviniemi 2006, 443.)

Hakkuukonemittaus mittaa jatkuvasti puun läpimittaa ja pituutta. Läpimitta mitataan millimetrin tarkkuudella ja pituus senttimetrin tarkkuudella (kuva 1). Koneen tietokone laskee harvesteripäässä olevien mitta-antureiden antamien tietojen avulla rungon läpimittaa ja pituutta. Hakkuukoneessa on optimointiohjelma, jonka avulla kone hakkaa puuta sopimuksessa sovittujen mittojen mukaan. (Kiviniemi 2006, 443.)



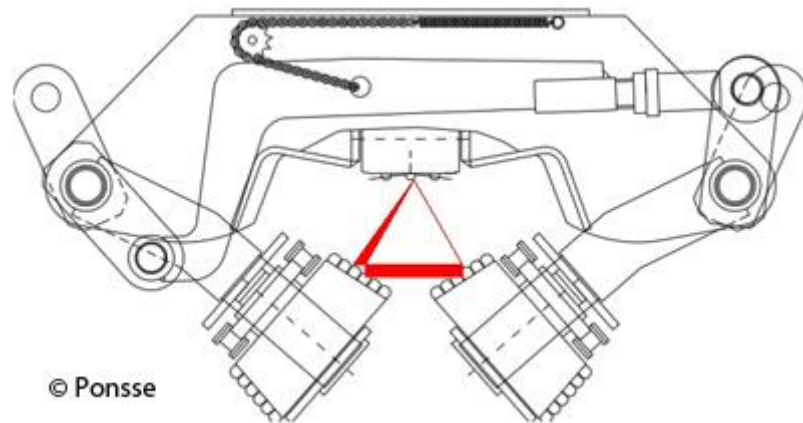
KUVA 1. Hakkuukoneen mittaustekniikka (Ponsse Opti 4G mittauksen ylläpito 2016).

Teknisesti puun pituus saadaan harvesteripäässä olevan mitta-anturin avulla. Kalibrointikorjauksen ja kaatosahauksen jälkeen, rungon kylkeä pitkin pyörivän hammastetun mittapyörään kytketyn pulssianturin avulla tietokone laskee pituusmitta-arvon eli terän etäisyyden rungon tyvestä (kuvat 2). Tästä saatua tulosta korjataan muunnosarvolla, jonka suuruus on määritetty puutavaralajeittain kalibrointimittauksen kautta mittanauhalla. Pituusmitta-anturin tarkkuus on tänä päivänä 5-10 mm luokkaa. (Sipi 2009, 114.)



KUVA 2. Hakkuupään mittapyörä.

Rungon läpimitan mittaukseen voidaan käyttää syöttörullia, syöttöteloja tai karsintateriä, joihin on kiinnitetty ns. kulmapotentiometri. Mittaus tehdään kuoren päältä kolmiomittauksella, jolloin saadaan tukista läpimitta ristimittaa vastaavalla tarkkuudella (kuva 3). Tietokone suodattaa tuloksista pois mahdolliset virheet mittauksessa, eli mahdolliset oksakyhmyt, korot ja muut mittaustulokseen vaikuttavat epäloogisuudet. Kulmapotentiometriin syötetään vakiojännite ja tämän liu'ulta mitataan tuleva jännite. Tästä saatu jännitteen arvo vastaa karsintaterien tai syöttöelinten kulma-arvoa eli miten auki karsimaterät ovat. Kulmapotentiometrin antamien arvojen avulla pystytään johtamaan oikea läpimitatieto hakkuukoneen tietokoneelle. Läpimitaakin voidaan kalibroida kontrollimittauksen avulla 1 mm tarkkuudella. (Sipi 2009, 114.)



KUVA 3. Lämpimitan mittausperiaate (Mittauksen perusasiat 2016).

Lopullinen tietokoneella näkyvä tulos on johdettu antureiden antamista tiedoista eli se ei ole suora mittaustulos. Mittaustuloksesta ilmenee puun pituus ja tilavuus rungoittain. Tuloksessa on otettu huomioon kalibrointikorjaus ja mahdolliset epäloogisuudet, esimerkiksi koro. Ympyrälieriön kaavaa käytettäessä oletetaan, että puu kapenee latvaa kohden. Tästä syystä suodatetaan virhearvot pois runkokäyrää muodostettaessa. Esimerkiksi edellistä läpimittaa suurempi läpimitta-arvo suodatetaan pois, koska tämä vaikuttaisi paljon oikeaan tilavuuteen. Suurempi läpimitta-arvo voi johtua esimerkiksi oksasta. (Sipi 2009, 115.)

Rungon tilavuus on johdettu pituuden ja läpimitan mittaustietojen kautta muodostuneelta runkokäyrältä, soveltaen lieriön tai kartion laskukaavaa. Rungon tilavuus saadaan laskemalla 1-10 cm pitkien pätkien summa. Menetelmää kutsutaan osatekijöiden summamenetelmäksi. (Uusitalo 2003, 153.)

Tarkastusmittauksen yhteydessä runkokäyrää tarkasteltaessa on tärkeää, että hakattavan rungon käyrä ei systemaattisesti eroa tilastoiduista runkokäyristä. Jos rungon järeämman osan käyrä eroaa -2 % ja ohuemman osan +2 % annetusta runkokäyrästä, tarkastusmittauksen tuloksena on lähes 0 %. Vastakkaiset arvot siis kumoavat toisensa. On mittaustarkkuuden kannalta tärkeää, että rungon käyrästä molemmat päät ovat lähellä ”mallikäyrästä”. (Tarkiainen 2017.) Kun kuituosaan tulee käytännössä mukaan myös järeämpiä pölkkyjä ja isompia läpimittoja, päättelyketju katkeaa (Leinonen 2017).

3.4 Tyvipölkyn tilavuudenlaskenta

Puun tyven (0,0-1,3 m) mittauksessa käytetään tyvifunktiota kahdesta syystä. Teknisesti hakkuukoneen koura ei pysty mittamaan puuta kannolta asti, koska mittaelimet sijaitsevat kouran keskiosassa. Ensimmäinen läpimitta saadaan mitattua 0,5-1 metrin etäisyydeltä kaatosahauksesta, mutta tyven muoto tasoittuu korkeammalla ja myös laskennallisista syistä ensimmäisenä mitta-arvona käytetään 1,3 metrin korkeudelta saatua arvoa. (Sipi 2009, 116–117.)

Tyven mittauksessa hyödynnetään liitteessä 1 olevaa puulajikohtaista tyviprofiilikerrointia. Tyvipölkyn tyviosan tilavuus määritetään tyviprofiilikertoimen avulla. Tämän jälkeen tilavuus lasketaan samalla kaavalla, jota käytetään muiden rungon osien tilavuuksien laskennassa. (Sipi 2009, 116–117.)

3.5 Katkonnanohjaus

Puun katkonta on oleellinen osa metsänhakkuuta. Jotta tuotantolaitokset saavat riittävän määrän haluttua tavaralajia tehtaalle, ohjataan puun katkontaa puutavaralajikohtaisesti tavoitteen mukaisesti arvomatriisin ja tavoitematriisin avulla. Automaattinen katkonta arvioi jatkuvasti runkokäyrien perusteella, mitä puutavaralajia seuraavaksi katkotaan. Automaattinen katkonta määritetään arvomatriisin ja jakaumamatriisin avulla. Pelkän arvomatriisin käyttäminen johtaa tuotantopäässä epäedulliseen tilanteeseen läpimitta/pituusluokkien suhteen. Tästä syystä optimoinnissa käytetään molempia matriiseja parhaan lopputuloksen saavuttamiseksi. Katkonnan ohjaussuunnitelma lähetetään hakkuukoneelle APT- tiedostossa, jota koneen tietokone voi suoraan lukea. (Uusitalo 2003, 155.)

Arvomatriisissa (hintaalista) määritetään tavaralajikohtaisesti. Arvomatriisin ajatuksena on maksimoida yksittäisen rungon arvo. Tavaralajin eri pituus ja läpimitta luokille määritetään oma perushinta (taulukko 1.) Perushinta ei tarkoita millään tavoin tukin oikeaa hintaa. Sahatukille perushinta on yleensä 200 ja perushinnan vaihteluväli 180–220. Perushinta määräytyy rungon arvokkuudesta loppujalostuksessa. Kun tukki arvostetaan korkealle, sen perushinta on suuri. Kuusen sorvitukille perushinta on yleensä 300 ja

perushinnan vaihteluväli 270–330. Tietokoneen tavoitteena on saada rungosta suurin mahdollinen summa, arvomatriisin arvostuksen mukaan (Uusitalo 2003, 156.)

TAULUKKO 1. Arvomatriisi (Mittauksen perusasiat 2016).

Pituus	370	400	430	460	490	520	550	580	580	610	1990				cm
152	205	212	213	214	215	215	213	213	213	208					
170	200	202	203	204	205	205	203	203	203	203					
190	210	212	213	214	215	215	213	213	213	213					
210	215	217	218	219	220	220	218	218	218	218					
230	218	220	221	222	223	223	221	221	221	221					
250	220	222	223	224	225	225	223	223	223	223					
270	223	225	226	227	228	228	226	226	226	226					
290	225	227	228	229	230	230	228	228	228	228					
310	228	230	231	232	233	233	231	231	231	231					
330	210	212	213	234	235	235	233	233	233	233					
350	220	222	223	244	245	245	243	243	243	243					
370	230	232	233	254	255	255	253	253	253	253					
390	220	222	223	254	255	255	253	253	253	253					
410					260										
430					260										
450					260										
470					260										
490					260										
510					260										
550					260										

D[mm] 650 (max)

Hinta Jakauma Väri

Jakaumamatriisin avulla ohjataan puolestaan tavaralajikohtaisesti tavoiteprosentti kullekin pituuden ja läpimitan yhdistelmälle, mitä halutaan hakata (taulukko 2). Tavoiteprosentti on suurin niillä rungoilla, joita tuotantoyksiköissä eniten halutaan. Jakaumamatriisin kokonaissummaa ei voi ylittää vaan se on aina 100. Jakaumamatriisi voidaan luoda arvostaen jokainen kokoluokka samanarvoiseksi. (Uusitalo 2003, 157.)

TAULUKKO 2. Jakaumamatriisi, pituusluokittaintavoite (Mittauksen perusasiat 2016).

	430	460	490	520	550	580	610	Yhteensä
160	5	10	25	25	10	10	15	100
170	5	10	25	25	10	10	15	100
180	5	10	25	25	15	10	10	100
200	5	30	10	10	30	10	5	100
220	5	20	15	15	20	15	10	100
240	5	15	15	20	20	10	15	100
260	5	15	10	15	25	20	10	100
280	5	15	20	20	20	10	10	100
300	5	15	15	15	20	20	10	100
320	5	15	15	15	20	20	10	100
340	5	15	15	15	20	20	10	100

Jakaumamatriisin ongelmana on, että leimikon ominaisuudet määräävät pitkälti saatavien läpimittojen saannin. (Pienen läpimitan leimikoista ei voi saada suuria tukkeja ja ison läpimitan leimikoista ei saa pieniä tukkeja.) Tästä syystä jakaumamatriisiin määritetään usein läpimittaluokkakohtaiset pituusjakaumatavoitteet eli jokaisen läpimittaluokaan määritetään eri pituusluokkien suhteelliset tavoiteosuudet. (Uusitalo 2003, 157.)

3.6 Mittausvirheeseen vaikuttavia tekijöitä

Mittausvirheeseen vaikuttavia tekijöitä on tiedossa ja näitä pyritään välttämään jatkuvalla seurannalla ja pienillä työskentelytavan muutoksilla. Kun olosuhteet ja koneet toimivat ihanteellisesti, mittauselimet kykenevät seuraamaan puun rungon muotoja läpimitan ja pituuden mittausta varten. Virhetekijöitä ovat mm, ison tukkirungon vetäminen, paineiden muutos, vialliset tai kuluneet mitta-anturit, karsintaterät/vetorullat sekä jatkuvasti muuttuvat olosuhteet. (Sipi 2009, 118.)

Rungon vetäminen tarkoittaa tilaa, jolloin puu joutuu jännitteeseen mittalaitteen otteessa rungon isosta koosta johtuen. Tällöin koura ei pysty pitämään runkoa tiukassa otteessa vaan ote leviää aiheuttaen virhettä läpimitassa. Vetämistä tulisi välttää ajamalla

hakkuukone mahdollisimman lähelle runkoa, jolloin runko on helpommin käsiteltävissä. Hakkuukoneen kuljettajan vastuulla on seurata, että koura on tiukasti kiinni rungossa eikä avautumista tapahdu. (Sipi 2009, 118.)

Olosuhteiden muutokset ovat suurimpia virheitä aiheuttava yksittäinen tekijä. Talvella lumi ja jää tarttuvat puun runkoon ja etenkin keväällä nila-aikaan kuoren irtoaminen aiheuttavat läpimittaan virhettä. Keväisin lämpötilan jatkuva vaihtelu nollan molemmin puolin aiheuttaa ongelmia hydraulikkapaineiden säädön kanssa, sillä lämpötilasta johtuen puun pinta on välillä pehmeä ja välillä kova. (Kontio, 2016.)

Pituuden mittaustarkkuuteen vaikuttaa mittapyörän hampaiden uppoaminen runkoon. Mittapyörän uppoaminen voi johtua mittapyörän hammastuksen kunnosta, puun pehmeystä ja keliolosuhteista, kuten pakkasesta. Karsintaterien kunto on tärkeä tekijä myös pituusmitan onnistumisessa. Kaatosahauksen merkitys pituusmittaan on suuri. (Sipi 2009, 119–120.)

Karsintaterien olisi pystyttävä seuraamaan runkoa sujuvasti. Huono karsinta aiheuttaa heittoa läpimitta tuloksessa. Oksaisuus voi aiheuttaa ylimääräistä rungon syöttämistä läpi karsintaterien, jolloin riski kuoren irtoamiseen ja läpimittavirheeseen kasvaa. Myös pituusmitta vaihtelee mittauspyörän ylimääräisen ajon takia. Tästä syystä karsintaterien ja vetorullien hyvä kunto on tärkeä tekijä hyvään mittaustarkkuuteen pääsemiseksi. Hakkuukoneen mitatessa läpimittaa vetorullista on mittaustarkkuus alttiimpi lumen ja jään vaikutukselle. (Sipi 2009, 119.)

Yleensäkin koneella työskennellessä on pidettävä huoli koneen moitteettomasta toiminnasta myös mittalaitteiden osalta. Mittalaitteiden kuntoa, järjestelmän paineita ja mahdollisia kulumisia on seurattava jatkuvasti, jotta mittaus tapahtuu virheettömästi. Laitteiston kunnan osalta tarkkailtavia seikkoja ovat mittapyörän hampaat ja laakeristo, mittapyörän puristusvoima, karsintaterien kunto, laipan ja teräketjun kunto sekä johtojen ja antureiden kunto. Kun puuta mitataan ns. koskettavalla mittaustekniikalla, on väistämättäkin hyväksyttävä mittaelimien ”eläminen” puun rungon mukana. (Sipi 2009, 119–120.)

Läpimittavirhe vaikuttaa prosentuaalisesti enemmän tilavuuteen kuin pituusmitan virhe. Yhden prosentin systemaattinen heitto pölkyn läpimitassa aiheuttaa kahden prosentin heiton pölkyn tilavuudessa. Suurempi ero johtuu siitä, että läpimittavirhe vaikuttaa koko rungon matkalla. Pituuden heittoa tarkastellessa, prosentin systemaattinen heitto pituudessa tarkoittaa prosentin heittoa tilavuudessa. (Sipi 2009, 119–120.)

3.7 Mittaustarkkuuden ylläpito

Hakkuukoneen mittatulosta seurataan kahdella eri menetelmällä. Menetelmiä ovat kuljettajan omavalvonnan yhteydessä mitattavat päivittäisrunko-otanta ja tarkastusmittaus. Päivittäisrungot, jotka tietokone arpoo kaikkien puutavaralajien väliltä ja ilmoittaa satumanvaraisesti mittaukseen valittavan puun. Päivittäisotannalla mittalaitteen toimintaa seurataan jatkuvasti ja vältetään systemaattisilta virheiltä. Omavalvonnan yhteydessä kuljettaja voi arvioida omaa työskentelyä ja kehittää omaa ammattitaitoa mittaustarkkuuden osalta. Päivittäisrunkoja mitataan noin yksi runko kahta työpäivää kohden. Koneen ilmoittaessa mittauksesta, on koneen kuljettajan mitattava runko koneen tarkkuusmittalaitteella ja verrattava tuloksia koneen antamiin tietoihin (kuva 4). Tarkkuusmittalaitteeseen siirretään automaattisesti mitattavien pölkkyjen mittaustiedot hakkuukoneelta STI-tiedostona. Mittaustuloksen perusteella laite ilmoittaa onko koneessa säädön tarvetta. Tarvittaessa kuljettaja virittää tietokoneen muuttamalla pituuden ja läpimitan muunnosarvot. Kuljettajan on aina huollon jälkeen tarkastettava mittaustuloksen tarkkuus, sillä toimenpiteet liikuttavat helposti mittaustuloksia. (Sipi 2009, 122.)

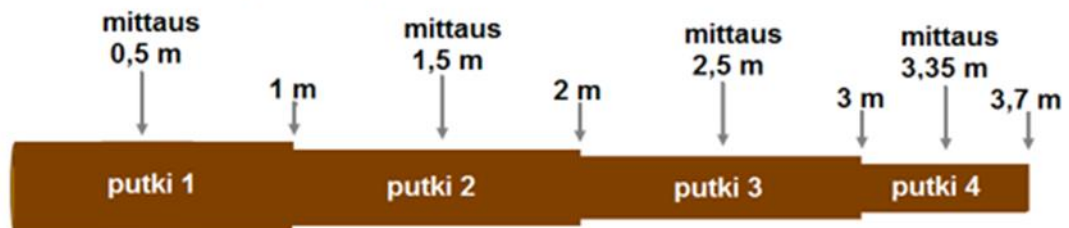


KUVA 4. Hakkuukoneen kontrollimittaus Maser excaliper II –tarkkuusmittalaitteella.

Toinen menetelmä on tarkastusmittaus eli hakkuukonekontrolli. Usein kontrolliotantaa suorittaa koneyrittäjän lisäksi puiden ostajan edustaja, erillisillä tarkkuusmittalaitteilla, sovitun määrän vuodessa. Tarkastusmittaus on suoritettava konekohtaisesti kaksi kertaa vuodessa ja aina asianomaisen niin vaatiessa. Tarkkuusmittalaitteella pölkky mitataan metrin välein alkaen 0,5 metristä (kuva 5). Poikkeuksena tästä on tyvipölkynmittaus. (Sipi, 2009, 123.)

Mittasakset mittaavat pölkyn tasapaksuisena putkena, paksuus mitataan kunkin tasapaksuisen putken keskikohdasta,

Putki 1 + putki 2 + putki 3 + putki 4 = PÖLKYN KOKONAISTILAVUUS



KUVA 5. Tarkkuusmittalaitteen mittausperiaate (Ponsse Opti 4G mittauksen ylläpito 2016).

Yleensä yrittäjät ja puunostajat haluavat ottaa tarkastusmittauksia useammin, jopa neljä kertaa vuodessa. Kontrolliotanta kohdistetaan etenkin niille koneille, joiden päivitysotantatiedoissa on selvästi viitteitä huonosta mittaustarkkuudesta. Tarkastusmittaus

sisältää sekä tukkeja että kuituja samanarvoisesti, vähintään puutavaranmittauslain vaatiman 30 pölliä eli noin 5-7 runkoa. Tämän tulee sisältää vähintään 10 pölkkyä kustakin puutavaralajista riittävän tarkan mittaustuloksen saavuttamiseksi. Mittaustulos on aina tarkempi suurempaa puutavaraerää mitattaessa. (Sipi, 2009, 124.)

Tarkastusmittauksessa tulee käyttää ulkopuolisen tahon mittalaitetta, eli hakkuukoneen oman mittalaitteen käyttö ei ole suositeltavaa. Tällä välttyään mittalaitteistosta johtuvasta virheestä. Tarkastusmittalaite on ajoittain tarkistettava valmistajan ohjeiden mukaan ja tarvittaessa kalibroitava. Myös mittauksessa käytettävän mittanauhan nollakohta on varmistettava. (Sipi, 2009, 124.)

Tarkastusmittauksen jälkeen verrataan tulosta hakkuukoneen mittaustulokseen. Jos tilavuusero on huomattava, kuljettajan tulee säätää koneen muunnosarvoja. Säädön jälkeen tarkastusmittaus toistetaan ja kohdistetaan siihen tavaralajiin jossa tilavuuseroa on. Mittauksessa läpimitan tarkkuus tulisi olla 1 mm ja pituuden tarkkuus 1 cm. Tarkastusmittauksen tilavuusero, verrattuna hakkuukoneen antamiin tuloksiin, ei saa ylittää lain sallimaa $\pm 4 \%$ (Sipi, 2009, 124–125.)

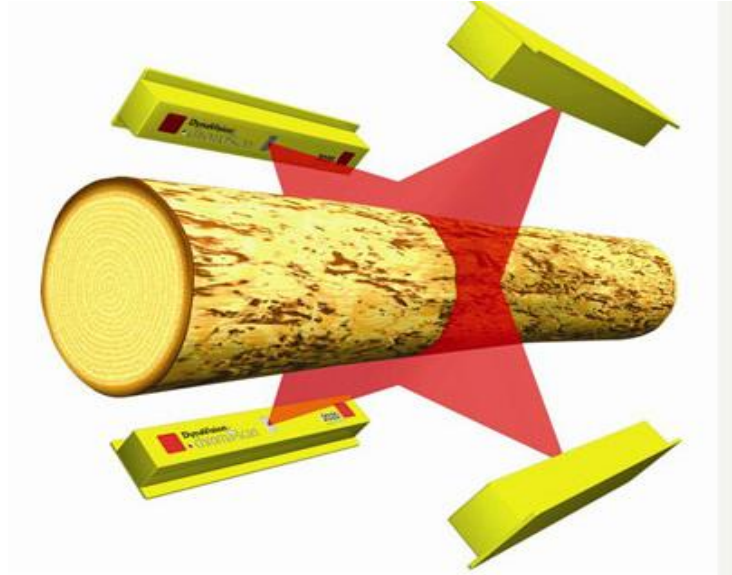
4 TEHDASMITTAUS

4.1 Tehdasmittauksen mittausmenetelmä, valvonta ja lainsäädäntö

Tehdasmittauksessa tukit mitataan tehtaalla tukkilajittelun yhteydessä, jolloin tukit lokeroidaan läpimitan, pituuden ja laadun mukaan loppujalostusta varten. Tukkimittarilla mitataan kaikki vierastoimituspuidet sekä otannat rekkakuormista ja uittopuista. Tehdasmittauksen jälkeen puutavara siirtyy suoraan jalostettavaksi tai puukentälle. Tästä syystä tehdasmittaus on kertaluontoista toimintaa, eikä sitä voi uusia. Pituuden mittauksessa yleisin virhe tehtaalla tulee tukkien vinopäisyydestä ja ”lipasta”. Mittavirheen suuruus johtuu tukin pään asennosta laseriin nähden (Korpilahti ym. 2006. 13.)

Teknisesti tukin läpimitan ja pituuden mittaus tehtaalla tapahtuu mittaamalla tukin läpimittaa 1-2 cm välein useasta suunnasta infrapunavalosäteellä ja kameroilla. Kun tukki

saapuu mittauskehikkoon, kuvataan kameroilla lasersäteiden heijastumaa tukin pinnasta. Näin tukista saadaan muodostettua kolmiulotteinen malli (kuva 6). (Sipi 2009, 75.)



KUVA 6. Tukin mittausperiaate tehtaalla (Melkas, 2013).

Saatujen arvojen perusteella lasketaan tilavuus hyödyntäen kartion tai lieriön kaavaa. Tilavuuden mittaus menetelmä on käytännössä sama, kuin hakkuukoneen mittauksessa käytettävä mittaustapa. Tehdasmittauksessa ei käytetä kuitenkaan tyvifunktiota tyven kuutioimiseen (Sipi 2009, 105.) Tehdasmittauksen mittaustarkkuuden pitää olla puutavaran mittauslain (414/2013) mukaan $\pm 2 \%$.

Tehdasmittauksessa on tärkeää, että tehdasmittaan osoitetut puutavaraerät eivät sekoitu. Jokaisen tehdasmittaukseen tulevan puutavaraerän tietojen on oltava täydellisiä. Tiedoista on tultava ilmi myyjän nimi, sopimusnumero, päivä sekä puiden tunnistetiedot. Tehdasmittauksen luotettavuutta voidaan perustella mittaushenkilöiden ammattitaidolla, sillä kyseiset työntekijät on koulutettu mittaamaan erät tarkasti. Lisäksi tehtaalla voidaan järjestää tasapuolisemmat mittausolosuhteet, kuin mitä maastossa on mahdollista. (Sipi 2009, 73-75.)

Tehdasmittaukseen tyytymättömän osapuolen on valittömästi ilmoitettava asiasta mittauksen suorittajalle. Käsittelyvirheet, kuten puuerien sekoittumiset ja häviämiset on käsiteltävä välittömästi. Osapuolet selvittävät erimieleisyyden lähtökohtaisesti

keskenään, mutta tarvittaessa kutsuvat virallisenmittaajan tarkastamaan tilanteen. Tarkastusmittauksessa ilmi tulleet virheet on korjattava, ennen mittauksen jatkumista. (Laki puutavaran mittauksesta 414/2013.)

Tehdasmittauksessa oma-valvontaa on tehtävä kappaleittain mittaukseen perustuvilla mittalaitteilla 1-2 käyttöviikon välein ja muodostelmien mittaukseen perustuvilla mit-tausmenetelmillä ja mittauslaitteilla 4-6 käyttöviikon välein (Laki puutavaran mittauk-sesta 414/2013). Tehdasmittauksista valvotaan Luonnonvarakeskuksen (LUKE) viran-omaisten toimesta valvontamittauksin. Valvontamittauksia tehdään säännöllisesti LUKE:n oman suunnitelman ja tehtaiden pyynnön mukaan. Valvontamittauksissa tar-kastetaan käytettävän mittalaitteen, mittausohjelman ja mittamenettelyn toiminta. Tar-vittaessa viranomaisilla on oikeus keskeyttää virheellisen mittalaitteen käyttö, kunnes tarvittavat korjaustoimenpiteet on suoritettu. (Laki puutavaran mittauksesta 414/2013.)

4.2 Pelloksen tehdas

UPM on monikansallinen metsäteollisuusyhtiö, jolla on tuotantoa 13 maassa ja myyn-tiverkosto kattaa koko maailman. UPM toimii kuudella eri liiketoiminta alueella jalos-taen puusta paperia, kartonkia, vaneria, biopolttoaineita, tarroja ja komposiittituotteita. (kuva 7). Vuonna 2015 yhtiön liikevaihto oli 10,1 miljardia euroa. (UPM 2016.)



KUVA 7. The Biofore Company (UPM 2016)

UPM metsä vastaa tehtaan puunhankinnasta. Vastaanottokapasiteetti on 1,1 milj. m³/vuosi. Tehdas käyttää 15–20 hehtaarin verran puuta päivässä, mikä tarkoittaa noin 3600 m³ puuta/pv. Kuusitukki on tehtaan pääraaka-aine. Tehtaille ajettavat puut ovat pituuksiltaan 40 dm, 46 dm, 52 dm ja 56 dm. Tyven maksimiläpimitta on 75 cm ja

latvaminimi 18–22 cm. Tehtaalle tulevien tukkien yleisimmät virheet ovat mittavirheet, halkeamat ja mutkat. (Katainen 2017.)

UPM:n Pelloksen tehdas on yksi Euroopan suurimmista vaneritehtaista. Tehdasalueella on yhteensä kolme erillistä tuotantolaitosta, joista jokainen jalostaa hiukan erilaista tuotetta. Vanerituotteet ovat pääasiassa rakennus ja kuljetusvälineiteollisuuteen. Tuotteita viedään 39:ään eri maahan, joista Alankomaat on suurin tilaaja. (Katainen 2017.)

Tehtaalle tuodut tukit mitataan vaakamittauksella, tukkimittarimittauksella ja kuormainvaakamittauksella. Mittauspisteellä työtä tehdään kahdessa vuorossa. Työryhmään kuuluu 4 henkilöä, joiden roolit ovat puunhuoltoesimies, vastaanottoesimies sekä 2 lajittelulinjatyöntekijää. Esimiehet ovat koulutukseltaan metsätalousinsinöörejä. Tehtaan mittalaitteita tarkastetaan virallisen mittajaan toimesta kerran vuodessa. (Katainen 2017.)



KUVA 8. Pelloksen autovaaka.

Pelloksen tehtaalle toimitetut kaikki vierastoimituspuut ja omista toimituksista sattumanvaraisesti 20 % mitataan tehtaan tukkimittarilla ja loput tehtaalle tuotavat omat toimitukset vaakamittauksella (kuva 8). Puutavara-auto ajaa tullessaan vaa'alle, jossa kuljettaja kuittaa saapumisensa ja auton kokonaispaino mitataan. Kuorman purkamisen jälkeen mitataan auton tyhjäpaino. Saatavasta erotuksesta saadaan määritettyä kuorman

paino. Kuormanpainosta johdetaan tilavuus puutavaralajikohtaisen muuntokertoimen avulla, joita päivitetään jatkuvasti otantanippujen avulla. Vaakamittaus on käytössä ympärivuotisesti. (Katainen 2017.)

5 TUTKIMUSAINEISTO JA MENETELMÄT

5.1 Tutkimuksen aineisto

Opinnäytetyön tutkimusaineisto koostui kvantitatiivisesta tutkimusaineistosta. Tutkimukseen käytetty aineisto ja tutkimusmenetelmät voidaan jakaa kahteen osaan, päivittäisrunkoaineiston tutkimiseen ja vertailuun valtakunnalliseen aineistoon sekä hakkuukoneen mittalaitteen ja tehdasmittalaitteen tilavuuserojen vertailuun. Aineistot kerättiin syksyllä 2016 ja tutkimus toteutettiin joulukuussa 2016. Päivittäisrunkotietoja käsiteltiin ja analysoitiin Excel – ohjelmalla. Hakkuukoneen mittalaitteen ja tehdasmittalaitteen tilavuuserojen vertailu toteutettiin Excel – ohjelmalla. Excel – ohjelma soveltui aineiston kuvaukseen, käsittelyyn ja vertailuun.

5.2 Tutkimuksen tarkoitus, tavoitteet ja tutkimuskysymykset

Tutkimuksen tarkoituksena on selvittää hakkuukonemittauksen ja tehdasmittauksen tilavuuseroja sekä vertailla järeiden kuusitukkien tilavuuden vaihtelua hakkuukonemittauksen ja tehdasmittauksen välillä. Tutkimuksen tavoitteena on selvitettyjen tilavuuserojen määrän ja niihin vaikuttavien tekijöiden välttäminen ja näin ollen mittaustyön laadun yhtenäistäminen.

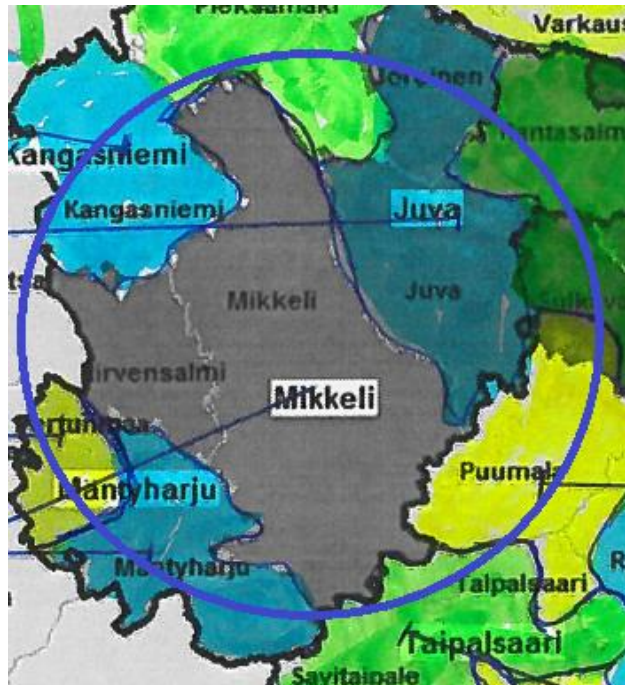
Tutkimusta ohjaavat keskeiset tutkimuskysymykset olivat:

1. Millaisia tilavuuseroja hakkuukonemittauksen ja tehdasmittauksen välillä on?
2. Mitkä tekijät vaikuttavat tilavuuseroihin?

5.3 Aineiston kokoaminen

5.3.1 Aineiston perustiedot

Tutkimuksen tilavuuseroaineisto kerättiin syksyllä 2016 UPM:n Mikkelin metsäasiakasyksikön alueelta (kuva 9). Päivittäisrunkoaineisto koostui vuosina 2015-2016 tehdystä UPM:n valtakunnallisesta päivittäisrunkotilastosta. Tämä on rajattu Itä-Suomen UPM:n hakkuukoneyrittäjien alueeseen, johon tutkimuksessa käytetyt hakkuukoneet sisältyivät.



KUVA 9. Aineiston keräysalue (Mikkeli, Juva, Rantasalmi, Mäntyharju)

Hakkuukonemitan ja tehdasmitan tilavuuserojen tutkimus koskee kaikkia Pelloksen havuvaneritehtaalle tuotavia pituusmittoja (40 dm, 46 dm, 52 dm, 56 dm). Tilavuuseron tutkimukseen valittiin 12 järeää kuusivaltaista päätehakuuleimikkoo, jotka hakattiin kymmenellä hakkuukoneella. Kaikki mukana olleet hakkuukoneet mittasivat läpimitan karsimateristä. Mikäli päätehakuulohkon yhteydessä hakattiin myös harvennusta, ajettiin sieltä kertyneet sorvitukit samaan erään logistisista syistä johtuen. Hakkuukoneilta saadut mittalistat ja tehtailta saadut vastaanottotulokset taulukoitiin Excelillä ja analysoitiin (esimerkit liitteissä 2 ja 3).

5.3.2 Päivittäisrunkoaineisto

Päivittäisrunkotietojen avulla päästiin käsiksi Itä-Suomen alueella toimivien yrittäjien koneiden päivittäisrunkoihin. Tästä aineistosta selvisi vuosina 2015–2016 hakattujen otantarunkojen määrä sekä tilavuuserot päivittäisrungoissa alueittain, yrittäjittäin ja koneittain. Aineiston avulla selvitettiin vuodenajan vaikutusta tilavuuseroon. Päivittäisrunkotietojen avulla pystytään kohdistamaan tarkastusmittaukseen otettavat leimikot hakkuukoneisiin, joissa jo otantarunkojen perusteella saattaisi olla virheitä mittauksen suhteen.

TAULUKKO 3. Päivittäisrunkojen tilavuuserot tutkimuksen yrittäjiltä 2015–2016.

	Pölkyt kpl	m ³	Tilavuus eroprocentti
2015	2 482	556	0,27 %
2016	2 549	558	0,38 %
Yht	5 031	1114	0,33 %

Vuosina 2015 ja 2016 runkoja mitattiin Itä-Suomen alueella yhteensä 1259 kpl, mitattuja pölkyjä oli 5031 kpl ja mitattujen puiden kokonaismäärä oli 1114 m³. Keskihajonta aineistossa oli 0,76 % (taulukko 3). Hakkuukone arpoo hakkuun yhteydessä päivittäisrunkoja, jotka tulee mitata tarkkuusmittalaitteella. Keskimäärin päivittäisrunkoja on mitattu 2 kpl päivässä. Päivittäisrunkoja on yhteensä UPM:n yrittäjien toimesta koko Suomen alueella hakattu 12 871 kpl ja kuutioina 21 834 m³.

5.3.3 Tilavuuseroaineisto

Leimikoiden keskikoko oli 2,1 ha ja leimikon keskimääräinen hehtaarikohtainen sorvipuumäärä oli 150 m³/ha. Leimikot olivat pääasiassa kuusivaltaisia päätehakkuuleimikoita. Erissä oli normaalia laatuvariaatiota, mutta kokonaisuudessaan leimikot olivat varsin hyvälaatuisia. Erien keskimääräinen raakkiprosentti tehtaan lajittelussa oli 2,1 % eli kokonaismäärästä yhteensä noin 100 m³. Yleisin syy hylkäykseen oli mutka tai lenko.

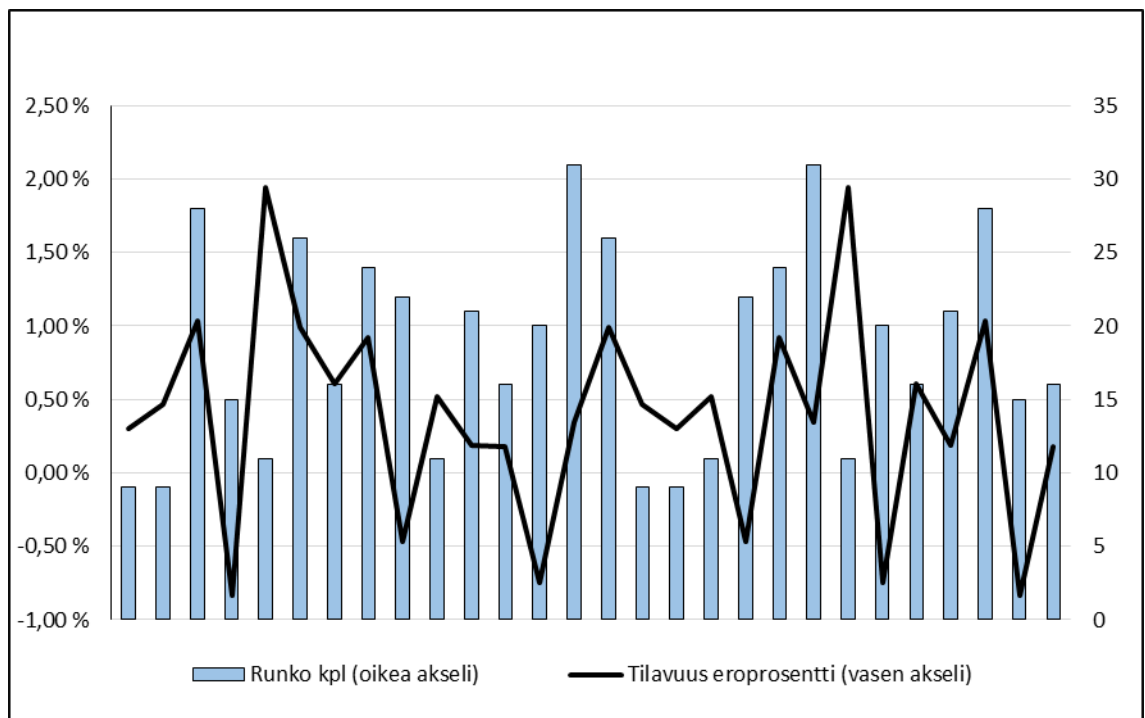
Valitut hakkuukohteet määriteltiin järjestelmässä ajettavaksi Pelloksen tehdasmittaukseen niin, että erät eivät mene sekaisin muiden tutkimuksen ulkopuolisten runkojen kanssa. Kun järjestelmään merkittiin tehdasmittaus, puutavara-autonkuljettajan oli automaattisesti ajettava puutavara tehtaalle sekoittamatta niitä muihin eriin. Vaihtoehtona oli merkitä erät selvästi värillä tai tarvittaessa puut ajettiin vajaalla kuormalla. Tehtaalla rungot mitattiin kappaleittain tukkimittarilla ja saadut tulokset raportoitiin operaatio-suunnittelijoille, jotka kokosivat tiedot yhteen ja lähettivät ne sähköpostilla joulukuussa 2016.

Tilavuuseroseurannan yhteydessä mitattiin tarkastusmittalaitteella tarkastusmittaus koneittain, jotta hakkuukoneen mittalaitteen systemaattinen mittausvirhe voitiin sulkea pois. Tarkastusmittauksen avulla työn luotettavuus parani, kun tiedettiin hakkuukoneen mittaavan oikein. Tarkastusmittaus suoritettiin vaatimusten mukaisesti. Tarkastusmittauksen erän koko oli vähintään 30 pölkkyä eli 5-7 runkoa/tarkastusmittaus. Tarkastusmittauksien eräkoot vastasivat lain vaatimaa vähimmäiseräkkoa riittävän mittatarkkuuden ja luotettavuuden saavuttamiseksi. Samalla mittauksella saavutettiin UPM:n ja puutavaranmittauslain vaatimia mittausmääriä tarkastusmittauksen osalta.

6 TULOKSET

6.1 Hakkuukonemittauksen ja tehdasmittauksen tilavuuserot

Tutkimuksen aikana (syyskuu-joulukuu 2016) tilavuusero päivittäisrungoissa oli 0,11 m³ eli 0,09 %. Hakkuukoneiden mittaamat päivittäisrungot ovat olleet hieman tarkkuusmittauksia suuremmat lähes koko tutkimusajan. Päivittäisrungoissa tilavuusero vaihtelua jatkuvasti läpi syksyn (kuvio 2).



KUVIO 2. Päivittäisrunkojen tilavuuserot syyskuu-joulukuun 2016

Kokonaistilavuusero päivittäisrungoissa vuosina 2015 ja 2016 oli $3,36 \text{ m}^3$ eli 0,33 %. Hakkuukone on mitannut keskimäärin 0,34 % enemmän kuin tarkkuusmittalaite. Tilavuuseroprosentti on siis suurempi kuin koko Suomen vastaava keskiarvo. Koko Suomen vastaava tilavuusero on ollut 0,05 %. Muihin UPM:n yksiköihin verrattuna Itä-Suomen alueen otantarunkojen tilavuusero on toiseksi suurin (taulukko 3.)

Kuuisorvitukkaa hakattiin yhteensä hakkuukoneen mittauksen mukaan $4\,722 \text{ m}^3$. Tämä on noin 90 m^3 enemmän kuin tehtaan ilmoittama mittaustulos oli. Tilavuuseroa koko tutkimusaineistoon verrattuna syntyi -1,9 % mittausten välillä. Tutkimuksen eräkohtainen tilavuusero keskimäärin oli -1,34 %. Tehdas mittasi systemaattisesti vähemmän kuin hakkuukone (taulukko 4.)

TAULUKKO 4. Toteutuneet sorvitukkimäärät (hakkuukone 100 %).

Tutkimuksen sorvitukit (kpl)	Hakatut pöllit (kpl)	Tutkimuksen sorvitukit (m ³)	Hakatut m ³
Hakkuukoneen kpl	14552	Hakkuukoneen m3	4722
Tehtaan kpl	14533	Tehtaan m3	4632
Kappale-ero	-19	Tilavuusero m3	-90
Kappale-ero%	-0,1 %	Tilavuusero%	-1,9 %

Puutavaralajikohtaisesti tukin tilavuudessa oli eroavaisuutta. Suurin tilavuusero tapahtui 52 dm pitkässä sorvitukissa Kokoluokissa 56 dm ja 52 dm oli mukana tyvet, joten on mahdollista, että tyvikorjaus aiheuttaa näissä kokoluokissa virheitä (taulukko 5).

TAULUKKO 5. Puutavaralajikohtaiset tilavuuserot keskimäärin.

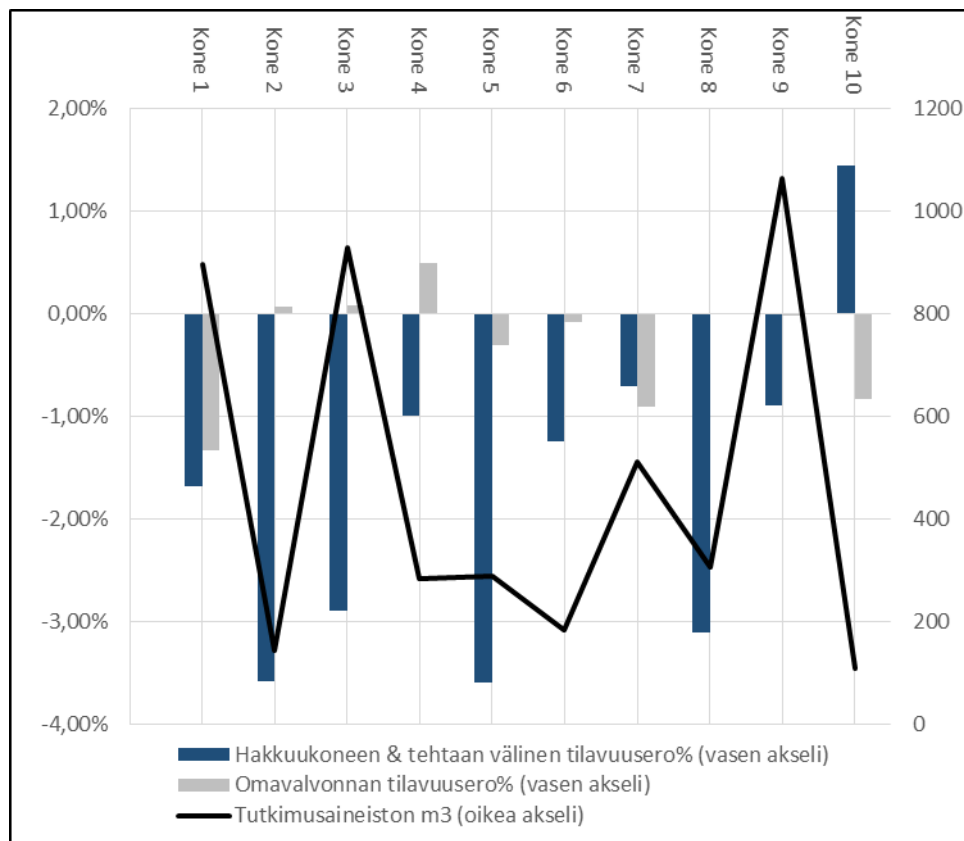
	Tukki (dm)	Tilavuusero dm ³ /tukki	Hakatut m ³	
	40	-8	50	
	46	2	1780	
	52	-18	1351	
	56	-5	1540	
Tilavuusero m ³ Keskiarvo			-7	Yhteensä m ³
			4722	

6.2 Tilavuuseroihin vaikuttavat tekijät

Yksi tilavuuseroon vaikuttava tekijä on ero pölkkyjen kappalemäärässä. Vain yhdessä tutkimusleimikossa päästiin yhtäläisiin tukkien kappalemääriin. Kokonaiskappalemäärään verrattuna 19:sta kappaleen ero tekee varsin olemattoman eron tutkimuksen kokonaistilavuudessa, vain 0,1 % eron. Keskimäärin puueriltä kappalemääräinen puute oli 0,6 kpl/erä.

Hakkuukoneiden kesken tilavuuseroja ilmenee varsin paljon konekohtaisesti. Suuntaus on yhtä hakkuukonetta lukuun ottamatta samansuuntainen. Koneen mittalaite mittasi

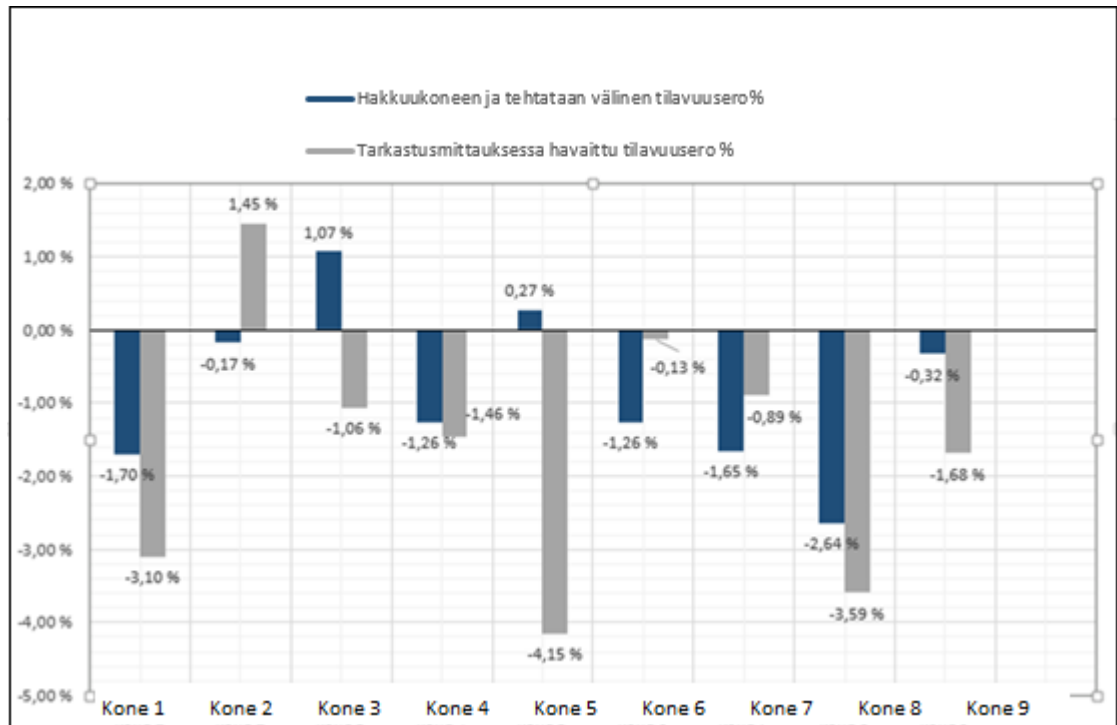
lähes poikkeuksetta enemmän kuin tehtaan mittauslaite. Hakkuukoneilla, joilla tutkimuksen aikana hakattu puumäärä jäi pieneksi, oli enemmän tilavuuseroa kuin mitä enemmän hakanneilla koneilla. Hakkuumäärän kasvaessa on selvää, että mittaaerot pienentyvät. Joissakin leimikoissa hakattiin paljon kookkaita iso-oksaisia puita pellon reunasta, mikä osaltaan vaikutti mittausvirheeseen maastossa. Syksyn päivittäisrunkojen mittaustarkkuudella koneittain, ei juuri ole yhteyttä tilavuuseroon, joka syntyi vertailun leimikoissa. Suuri tilavuusero voi johtua myös satunnaisotanta runkojen vähäisestä määrästä (kuvio 3.)



KUVIO 3. Päivittäisrunkojen mittaustarkkuuden yhteys mittamenetelmien mittaustarkkuuteen koneittain.

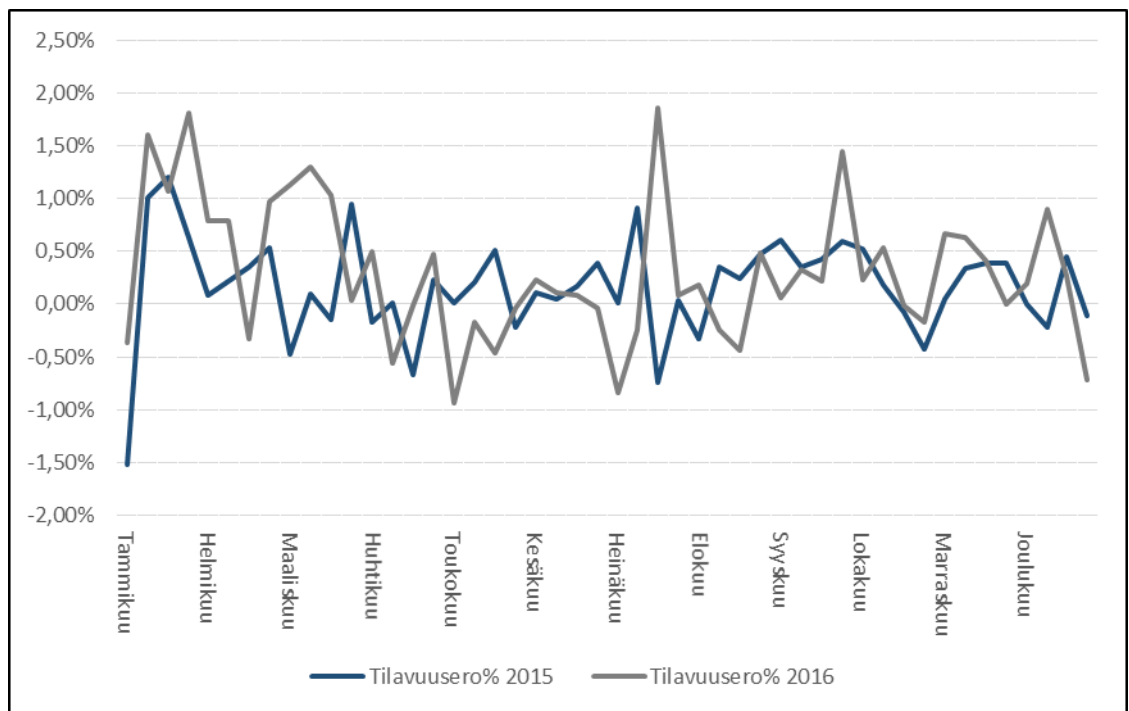
Myös tarkastusmittauksien tulokset kertovat, että hakkuukone mittaa 0,5-2,5 % enemmän kuin tarkkuusmittalaite mittaa. Keskimäärin hakkuukone mittasi 0,85 % enemmän kuin tarkkuusmittalaite. Tarkastusmittauskäyrä ja tilavuuserokäyrä käyttäytyvät leimikkokohtaisesti samalla tavalla. Kun tarkastusmittauksen kautta hakkuukone viritetään mahdollisimman hyvin, näkyy tulos todennäköisesti myös tehtaan mittaustarkkuudessa.

Keskimäärin ero tarkastusmittauksen ja tilavuuseroprosentin välillä oli 1,47 % (kuvio 4.)

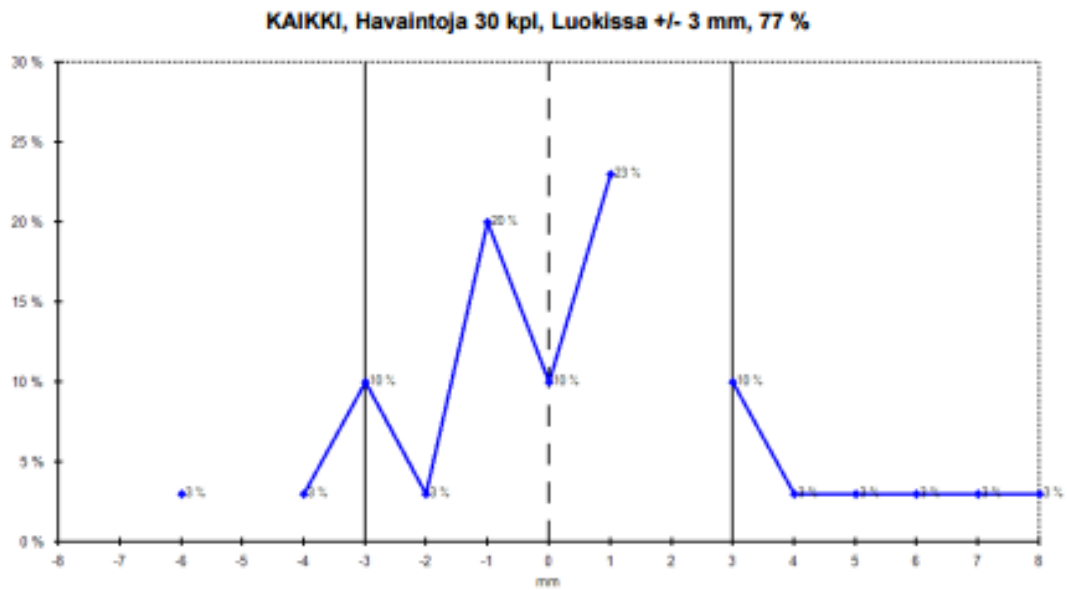


KUVIO 4. Tarkastusmittauksen tilavuuseroprosentti verrattuna tehtaan tilavuuseroon.

Päivittäisrunkojen kausikohtaisia muutoksia, jotka ovat molempina vuosina melko toistuvia, on havaittavissa. Kelirikkoaikaan tai tehtaiden kesäseisokin aikana mitattujen pölkköjen määrä vähenee huomattavasti, jolloin mittaustarkkuus huononee. Hakkuukone on päivittäisrunkoaineiston mukaan suurimman osan vuodesta ”plussalla” eli mittaa enemmän kuin mitä tarkkuusmittalaitteet osoittavat. Olosuhteiden nopea muuttuminen on voinut myös aiheuttaa ”piikkejä” tilavuuseroon, jos konetta ei ole säädetty olosuhtemuutosten myötä (kuvio 5.)

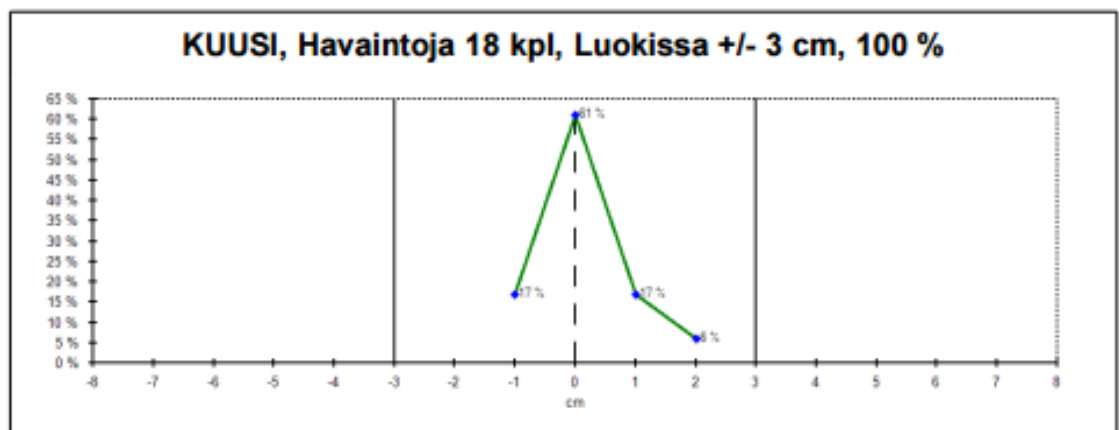


Päivittäisotantarungot muodostavat hakkuukoneittain läpimitan ja pituuden mittatarkkuuslokin, jotka lähetetään eteenpäin operaatioesimiehen käyttöön. Lokin avulla kuljettaja seuraa virityksen tarpeellisuutta. Läpimitan mittatarkkuutta seurataan ± 3 mm ikkunassa ja pituuden mittatarkkuutta ± 3 cm ikkunassa. Pituuden mittatarkkuudessa pyritään pysymään 100 % ikkunan sisällä. Läpimitan mittatarkkuudessa yli 80 % mahtumista vaadittuun ikkunaan pidetään hyvänä tuloksena (Tarkiainen, 2017.)



KUVIO 6. Esimerkki: läpimitan mittatarkkuuden seuranta hakkuukoneen lokissa. (Vasen akseli prosenttia, Ala-akselilla mm.)

Tutkimuksen aikana otettujen satunnaisotantarunkojen lokit kertovat, että pituuden mittatarkkuus oli kaikilla koneilla lähes 100 %, mutta läpimitan mittatarkkuudessa lokin perusteella olisi parannettavaa osalla koneista. Kuvioissa 6 ja 7 kuvataan yhden tutkimukseen valitun koneen mittatarkkuuslokitt. Läpimitan mittatarkkuuden alittaessa 50 % on mittaasetukset tarkistettava (50 % tuloksista ei mahdu vaaditun ikkunan sisälle).



KUVIO 7. Esimerkki: Pituuden mittatarkkuuden seuranta hakkuukoneen lokissa, Vasen akseli prosenttia, Ala-akselilla cm.

Hakkuukone antaa hälytyksen mittatarkkuudesta kuljettajalle ja kuljettajan on viritettävä kone uudelleen. Satunnaisotantarunkojen perusteella muodostettavien läpimittatarkkuuskäyrien avulla nähdään miten hyvin hakkuukone on viritetty. Mittauslokien tulokset olivat samaa luokkaa myös muilla tutkimuksessa olleilla hakkuukoneilla.

7 POHDINTA

7.1 Luotettavuus

Alkuperäisen suunnitelman mukaan oli tarkoitus laskea tutkimukseen tulevien tukkien määrä, jotta tuloksen luotettavuus olisi parempi. Heti aloittaessa tuli kuitenkin selväksi, että laskeminen olisi käytännössä mahdotonta suuren puumäärän vuoksi. Monella kohteella hakkuu oli vielä kesken, kun leimikon tukkeja alettiin kuljettaa tehtaalle puun tarpeen takia. Keliolosuhteet kuluneen syksyn 2016 aikana olivat tasaiset, joten olosuhteiden puolesta ei aiheutunut ylimääräisiä mittavirheisiin johtavia tekijöitä.

Otantarunkoaineiston avulla voidaan päätellä mille hakkuukoneelle laajempi tarkastusmittaus tulisi kohdistaa. Tarkastusmittaukset voidaan kohdistaa koneille, joilla tilavuseroa on vuoden aikana systemaattisesti esiintynyt.(taulukko 6).

TAULUKKO 6. Päivittäisrungot kolmen yrittäjän eri koneilla syyskuun – joulukuun aikana vuonna 2016.

	Pölkyt kpl	m ³	Tilavuseroero m ³	Tilavuseroprosentti
Yrittäjä 1	27	7,2706	0,27	3,7 %
Yrittäjä 2	168	43,3115	0,24	0,6 %
Yrittäjä 3	239	62,8925	-0,09	-0,2 %
Yhteensä	434	113,4746	0,41	0,4 %

Hakkuukoneen kanssa yhtenevän puumäärän saaminen tehtaalle osoittautui varsin vaikeaksi. Vain yhden kohteen osalta puiden kappalemäärät vastasivat täysin toisiaan. Kappalemäärän vaikutus ei kuitenkaan ole tämän tutkimuksen laajuuteen nähden mer-

kittävä tekijä (0,1 %.) Hakkuukoneiden kuljettajia pyydettiin varmistamaan kunnollinen värikoodaus tukkeihin, jotta ajokoneiden kuljettajat pystyivät helposti varmistumaan mikä pölkky kyseessä, mutta tästäkin huolimatta puita meni todennäköisesti väärin tienvarsivarastoihin. Tutkimuksen aikana osapuolilla oli tiedossa, että puumääriä seurataan. Tehdasmittaukseen kohdistettujen erien pitäisi automaattisesti lisätä tarkkuutta työskentelytoiminnassa. Mitä ero on normaalitoiminnan aikana? Onko tällä merkitystä?

Useat tutkimuksen kohteena olevat leimikot olivat hakkuussa samaan aikaan, jolloin aikataulullisesti kaikilla kohteilla en pystynyt henkilökohtaisesti vierailemaan ja ohjeistamaan metsäkoneenkuljettajia. Tästä syystä metsäkoneenkuljettajille annettiin yhteinen yleisohje työn onnistumiseksi. Ohjeistus koski lähinnä tukkien merkkäämistä ja mahdollisimman tarkkaa ajoa varastoihin. Haluttiin, että tutkimukseen valitut kohteet hakattaisiin mahdollisimman normaalisti todellisen tuloksen saavuttamiseksi.

Merkittävimmät tilavuuseroja selittävät tekijät ovat puun kulumisen käsittelyn aikana sekä mittausmenetelmien ja laitteistojen ero. Hakkuukoneen käsittelyn jälkeen puu on käsiteltyssä suoran kuljetuksen aikana jopa viisi kertaa. (kaato, juonto, kuljetus, purku, kulumien tehtaalla kuljettimella ja mahdollisesti välivarastoinnista aiheutuva liikuttaminen). Mittausmenetelmien ja laitteiden ero on myös huomioitava. Eri laitteilla, eri olosuhteissa mittaamalla lopputulos eroaa aina jonkin verran. Kun hakkuukone mittaa läpimittaa vetorullista on olosuhteiden vaikutus on suurempi kuin mitä karsintateriltä mittaavilla hakkuukoneilla koneilla. Tässä tutkimuksessa kaikki hakkuukoneet mittasivat kuitenkin karsimateristä. Hakkuukonemittauksen ja tehdasmittauksen mittamenetelmä on eroava, joten tässäkin aiheutuu mittavirhettä.

Tilavuuseroihin vaikuttava tekijä on myös viallisten tukkien pääseminen tehtaalle. Kun tukissa on lenkoutta, oksakyyhmyjä ja muita puutavarassa olevia vikoja, eivät hakkuukoneen mittaelimet pysty seuraamaan runkoa virheettömästi. Kyseiset tukkien ”raakkaamisen” olisi onnistuttava 100 % maastossa täydellisen mittatuloksen saavuttamiseksi. Tutkimuksen raakkiprosentti oli noin 2 %, joten raakit osaltaan vaikuttivat mittatulokseen.

Tutkimuksessa saadut tulokset mahtuvat lain vaatiman mittatarkkuusmarginaalin sisään kaikilla kohteilla, mutta yhtiön päämääränä on saada kavennettua tilavuuseroa mahdollisimman pieneksi. Esimerkiksi tarkastusmittauksien määrää kasvatetaan nykyisestä, jotta mittaustarkkuus saadaan pidettyä entistä tarkemmin halutussa ”ikkunassa”. Nykyisellä mittaustekniikalla on vaikea päästä tarkempaan mittaustarkkuuteen lukuisien muuttujien takia (Sipi 2009, 122). Tulevaisuudessa mittamenetelmien kehittyessä tavoite on yhä realistisempi. Uusia tulevaisuudessa tulevia innovaatioita voi olla ns. puuta koskevan mittausmenetelmä, jossa mittauslaite ei kosketa puuta vaan mittaa sen lasersereiden ja kameroiden avulla (Melkas & Visala 2009).

Tämän opinnäytetyön aineisto on laajuutensa vuoksi luotettava. Verrattuna muihin tutkimuksiin on tämä aineisto laajempi, kuin muissa vastaavissa julkisissa tilavuuserotutkimuksissa on ollut (esim. Minkkinen 2013). Muissa tutkimuksissa ei kuitenkaan ole tutkittu kuusitukkia, vaan mäntytukkia. Joidenkin tutkimuksessa olleiden erien tuloksissa oli selkeitä virheitä, joten ne poistettiin tutkimuksesta.

Muissa tutkimuksissa ei ole käytetty satunnaisotantarunkoaineistoa tilavuuserojen selvittämiseksi ja seurantaan. Otantarunkoaineistoa voidaan pitää luotettavana, koska aineisto on laaja ja kerätty tasaisesti kaikkien UPM:n hakkuukoneiden tiedoista viimeiseltä kahdelta vuodelta. Tämä tuo uutta näkökulmaa tilavuuserojen tarkasteluun ja jatkuva omatoiminen seuranta pitää hakkuukoneiden mittaustarkkuutta yllä.

Yhdessä erässä havaittiin, että tehdasmittaukseen merkityltä varastolta viimeinen vajaa kuorma oli ajettu välivarastoon ajatuskatkon takia. Tämä oli selkeä virhe mittatuloksen pitävyyden kannalta. Muuten puutavarankuljetuksessa ei ollut vastaavia ongelmia, vaan hakatut tukit kuljetettiin tehtaalle onnistuneesti. Pahimman kelirikon aikaan kuljetukset keskeyttivät vaikeimmilta kohteilta kokonaan, mikä aiheutti ongelmia tavoitellun aikataulun suhteen.

7.2 Johtopäätökset ja jatkotutkimusehdotukset

Kun tutkimuksesta saatua keskimäärästä tilavuuseroa verrataan Pelloksen tehtaan koko vuoden puunkäyttöön, on tilavuuseroa 17100 m³/vuodessa. Jos tuki hinnoiksi määritetään 50 €/m³, tekee se rahana 855 000 €/vuosi. Mittauksen tarkkuuden kehittäminen vapauttaisi pääomaa muuhun käyttöön, kuten uusien metsäasiantuntijoiden työllistämiseen. Metsänomistajan kannalta hakkuukonemittauksen käyttö mittaamenetelmänä tuo 20 000 € puukaupassa 380 € paremman tuoton kuin tehdasmittauksen käyttö.

Tutkimuksessa mukana olleiden hakkuukoneiden tarkastusmittauksen perusteella hakkuukone on systemaattisesti säädetty mittaamaan enemmän kuin tarkastusmittalaite. Puutavaranmittauslain 3. luvun 13§:n mukaan mittauksessa ei saa olla systemaattista virhettä, joka pysyy mittauksesta toiseen samansuuntaisena (Laki puutavaran mittauksesta 414/2013.) Hakkuukoneita pitäisi säätää rohkeammin kohti nollatulosta, jolloin tilavuusero tarkentuisi. Yrittäjien ja maanomistajien puolelta syntyy varmasti sanomista, jos yhtiön koneet hakkaavat todellista vähemmän.

Jatkotutkimusideoita syntyi työnohessa useampi. Tässä opinnäytetyössä keskityttiin hakkuukonemittauksen tarkkuuteen, mutta tehtaan tukkimittarin oikeellisuutta ei tarkasteltu. Tehtaan tukkimittarin kuorilisäyksen virhe voi lisätä tai vähentää mittaamenetelmien välistä tilavuuseroa. Olennainen osa puiden tilavuudenlaskennassa on tyvifunktio, jonka oikeellisuutta voisi tutkia tarkemmin kuusen sorvitukkien osalta. Tilavuuserojen tutkimusta voisi laajentaa läpivuotiseksi ja muihin puulajeihin, kuten koivuun. Tällöin saadaan selvitettyä enemmän keliolosuhteiden vaikutusta tilavuuseroon. Toinen jatkotutkimusvaihtoehto puutavaran painon muuntokertoimen vaihtelun ja luotettavuuden (validiteetin ja reliabiliteetin) selvittäminen, koska suurin osa puutavarasta mitataan Pelloksen tehtaalla autovaa'alla.

LÄHTEET

Katainen, Raimo 2017. Haastattelu 5.1.2017. Puuhuoltoapäällikkö. UPM Pellos.

Kiviniemi, Matti 2004, Metsäoikeus. Hämeenlinna: Paino Karisto Oy.

Kiviniemi, Matti 2006, Puukauppa. Hämeenlinna: Paino Karisto Oy.

Kiviniemi, Matti 2015, Metsäoikeus. Tallinna: Printon Trukikoda.

Kontio, Juha 2016. Haastattelu 11.10.2016. Hakkuukonekuljettaja. UPM Metsä.

Korpilahti, Antti, Hujo, Samuli & Poikela, Asko 2006. Katkontatarkkuuden ylläpito hakkuukoneella. PDF-dokumentti. http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/metsatehon_raportti_195.pdf. Ei päivitystietoja. Luettu 20.12.2016.

Laki puutavaranmittauksesta Nro. 414/2013. WWW-dokumentti. <http://finlex.fi/data/normit/41198-13012fi.pdf>. Ei päivitystietoja. Luettu 18.12.2016.

Leinonen, Timo 2017. Henkilökohtainen tiedonanto 20.1.2017. Yliopettaja Xamk Oy.

Maa- ja metsätalousministeriön asetus Nro. 12/13. WWW-dokumentti. <http://www.finlex.fi/data/normit/41198/13012fi.pdf>. Ei päivitystietoja. Luettu 19.1.2017.

Melkas, Timo 2013, Mittaus ja laatu-opas. WWW-dokumentti. <http://www.puuhuolto.fi/mittaus/start.html>. Päivitetty 15.2.2013. Luettu 18.12.2016.

Melkas Timo 2015. Puutavaran mittausmenetelmien osuudet vuonna 2015. WWW-dokumentti. http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/Tuloskalvosarja_2016_10a_Puutavaran_mittausmenetelmien_osuudet_2015.pdf. Ei päivitystietoja. Luettu 18.12.2016.

Melkas, Timo & Poikela, Asko 2015. Hakkuukoneen mittaustarkkuuden ylläpito. WWW-dokumentti. <http://puuhuolto.fi/omavalvonta/tyoohjeet/mittaustarkkuuden-omavalvonta/>. Ei päivitystietoja. Luettu 19.1.2017.

Melkas, Timo & Visala, Arto 2009. Hakkuukoneella kerätyn mittaustiedon hyödyntäminen. PDF-dokumentti. <http://www.metla.fi/aikakauskirja/full/ff09/ff094375.pdf>. Ei päivitystietoja. Luettu 2.1.2017.

Minkkinen, Aleksi 2013. Hakkuukoneen ja tukkimittarin mittaerot. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Metsätalouden koulutusohjelma. Opinnäytetyö.

Mittauksen perusasiat 2016. Julkaisija Ponsse Oyj, Mamkin Moodle –oppimisympäristö. WWW-dokumentti. Ei päivitystietoja. Luettu 18.12.2016.

Ponsse opti 4G mittauksen ylläpito 2016. WWW-dokumentti. <http://docplayer.fi/12044852-Ponsse-opti-4g-mittauksen-yllapito-koulutus-satunnaisotantamittaus-4-705.html>. Ei päivitystietoja. Luettu 12.11.2016.

Sipi, Marketta, 2009. Puuraaka-aineen mittaus. Helsinki: Yliopistopaino.

Suomen säädöskokoelma 2015 Nro. 1486/2015. Pdf-dokumentti. http://www.finlex.fi/fi/laki/kokoelma/2015/?_offset=2. Ei päivitystietoja. Luettu 19.1.2017

Tarkiainen, Juha 2017. Haastattelu 5.1.2017. Operaatioesimies. UPM Metsä, Juva.

Uusitalo, Jori 2003. Metsäteknologian perusteet. Hämeenlinna: Paino Karisto Oy.

UPM 2016. UPM lukuina. WWW-dokumentti. <http://www.upm.fi/UPM/Pages/default.aspx>. Ei päivitystietoja. Luettu 18.12.2016.

LIITTEET

LIITE 1.

1 Tyviprofiili kertoimet kuusi

TAULUKKO 7. Tyviprofiilikertoimet kuusi.

d _{1,3} , cm	Etäisyys kaatoleikkauksesta, 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	1329	1235	1179	1145	1122	1105	1090	1077	1064	1051	1038	1026	1013	1000
9	1327	1230	1172	1136	1113	1096	1083	1070	1058	1047	1035	1023	1012	1000
10	1324	1227	1167	1130	1106	1089	1076	1064	1053	1043	1032	1021	1011	1000
11	1321	1224	1163	1125	1100	1083	1070	1059	1049	1039	1029	1020	1010	1000
12	1318	1222	1161	1122	1096	1079	1066	1055	1046	1036	1027	1018	1009	1000
13	1315	1221	1159	1119	1093	1076	1062	1052	1043	1034	1025	1017	1008	1000
14	1311	1220	1159	1118	1091	1073	1060	1049	1040	1032	1024	1016	1008	1000
15	1308	1219	1159	1118	1090	1071	1058	1047	1039	1031	1023	1015	1008	1000
16	1305	1219	1160	1118	1090	1071	1057	1046	1037	1029	1022	1015	1007	1000
17	1302	1220	1161	1120	1091	1070	1056	1045	1036	1028	1021	1014	1007	1000
18	1299	1220	1163	1121	1092	1071	1056	1044	1035	1028	1020	1014	1007	1000
19	1296	1221	1164	1123	1093	1072	1056	1044	1035	1027	1020	1013	1007	1000
20	1294	1221	1166	1125	1095	1073	1057	1044	1035	1027	1020	1013	1007	1000
21	1292	1222	1168	1128	1097	1075	1058	1045	1035	1027	1019	1013	1006	1000
22	1289	1223	1171	1130	1100	1076	1059	1045	1035	1027	1019	1013	1006	1000
23	1287	1223	1173	1133	1102	1078	1060	1046	1035	1027	1019	1013	1006	1000
24	1285	1224	1174	1135	1104	1080	1062	1047	1036	1027	1019	1013	1006	1000
25	1283	1224	1176	1137	1106	1082	1063	1048	1036	1027	1019	1013	1006	1000
26	1281	1224	1178	1139	1109	1084	1064	1049	1037	1027	1019	1013	1006	1000
27	1279	1224	1179	1141	1110	1086	1066	1050	1038	1028	1020	1013	1006	1000
28	1277	1224	1180	1143	1112	1087	1067	1051	1038	1028	1020	1013	1006	1000
29	1275	1224	1180	1144	1114	1089	1068	1052	1039	1028	1020	1013	1006	1000
30	1273	1223	1181	1145	1115	1090	1069	1053	1039	1029	1020	1013	1006	1000
31	1272	1223	1181	1145	1115	1090	1070	1053	1040	1029	1020	1013	1006	1000
32	1270	1222	1181	1146	1116	1091	1070	1054	1040	1029	1020	1013	1006	1000
33	1268	1221	1180	1145	1116	1091	1071	1054	1040	1029	1020	1013	1006	1000
34	1266	1220	1179	1145	1116	1091	1071	1054	1040	1029	1020	1013	1006	1000
35	1264	1218	1179	1144	1115	1091	1071	1054	1040	1029	1020	1013	1006	1000
36	1263	1217	1177	1143	1115	1090	1070	1054	1040	1029	1020	1013	1006	1000
37	1261	1216	1176	1142	1114	1090	1070	1054	1040	1029	1020	1013	1006	1000
38	1260	1214	1175	1141	1113	1089	1069	1053	1040	1029	1020	1013	1006	1000
39	1258	1213	1173	1140	1112	1089	1069	1053	1040	1030	1021	1013	1006	1000
40	1257	1211	1172	1139	1111	1088	1069	1053	1040	1030	1021	1013	1007	1000
41	1255	1210	1171	1138	1110	1088	1069	1054	1041	1031	1022	1014	1007	1000
42	1254	1208	1169	1137	1110	1088	1069	1054	1042	1032	1023	1015	1007	1000
43	1252	1206	1168	1136	1110	1088	1070	1056	1043	1033	1024	1016	1008	1000
44	1250	1205	1167	1136	1111	1089	1072	1058	1045	1035	1025	1017	1008	1000
≥45	1247	1203	1167	1137	1112	1092	1075	1060	1048	1037	1027	1018	1009	1000

LIITE 2.**2 Esimerkki hakkuukoneen mittaustuloksesta****TAULUKKO 9. Hakkuukoneen mittaustulos esimerkki tukkien osalta.**

Kuusi	21	Tukkirunko, Kuusi	656	Kuusitukki, sorvi 56 dm Pellos	8880	PELLOKSEN 2. VANERITEHDAS	130,8m ³	289	452,6 litraa
Kuusi	21	Tukkirunko, Kuusi	646	Kuusitukki, sorvi 46 dm	8880	PELLOKSEN 2. VANERITEHDAS	25,5m ³	110	231,8 litraa
Kuusi	21	Tukkirunko, Kuusi	642	Kuusitukki, sorvi 52 dm	8880	PELLOKSEN 2. VANERITEHDAS	120,8m ³	264	457,6 litraa
Kuusi	21	Tukkirunko, Kuusi	640	Kuusitukki, sorvi 40 dm	8880	PELLOKSEN 2. VANERITEHDAS	6,5m ³	21	309,5 litraa

LIITE 3.**3 Esimerkki tehtaan mittaustuloksesta****TAULUKKO 10. Tehdasmittauksen mittaustulos esimerkki.**

Tehdas : Pellos 2 ja 3

Ptl	Laatu	Kpl	Vast.ot.m3	Jm
640 Kuusitukki, sorvi 40 dm	10 I-huokka	19	5,08	76,2
640 Kuusitukki, sorvi 40 dm	42 Ylisuuri	1	0,82	4,0
640 Kuusitukki, sorvi 40 dm	48 Kuiva / Laho /Poikaoksa	1	0,25	4,0
642 Kuusitukki, sorvi 52 dm	10 I-huokka	256	115,15	1336,8
642 Kuusitukki, sorvi 52 dm	44 Mutka + lenko	1	0,40	5,3
642 Kuusitukki, sorvi 52 dm	46 Laho	3	1,51	15,6
642 Kuusitukki, sorvi 52 dm	47 Tuoreoksa	3	1,30	15,7
642 Kuusitukki, sorvi 52 dm	49 Koro	1	0,28	5,2
642 Kuusitukki, sorvi 52 dm	64 Vähennys	0	0,11	0,0
646 Kuusitukki, sorvi 46 dm	10 I-huokka	106	24,23	488,4
646 Kuusitukki, sorvi 46 dm	44 Mutka + lenko	1	0,34	4,6
646 Kuusitukki, sorvi 46 dm	46 Laho	1	0,21	4,6
646 Kuusitukki, sorvi 46 dm	47 Tuoreoksa	1	0,20	4,6
646 Kuusitukki, sorvi 46 dm	63 Tuottamuksellinen vika	1	0,36	4,6
656 Kuusitukki, sorvi 56 dm Pellos	10 I-huokka	286	129,30	1611,1
656 Kuusitukki, sorvi 56 dm Pellos	44 Mutka + lenko	1	0,32	5,6
656 Kuusitukki, sorvi 56 dm Pellos	46 Laho	1	0,42	5,7
656 Kuusitukki, sorvi 56 dm Pellos	47 Tuoreoksa	1	0,51	5,6