



ITÄ-SUOMEN
YLIOPISTO

University of Eastern Finland

*Luonnontieteiden ja metsätie-
teiden tiedekunta*

Faculty of Science and Forestry

ENERGIARANGAN JA LATVUSMASSAN KOSTEUDEN MITTAAMINEN
LEIMIKOLLA

Lasse Tuunanen

METSÄTIETEEN PRO GRADU
ERIKOISTUMISALA: METSÄ-, ENERGIA- JA PUUTEKNOLOGIA

JOENSUU 2013

Tuunanen, Lasse. 2013. Energiarangan ja latvusmassan kosteuden mittaaminen leimikolla. Itä-Suomen yliopisto, luonnontieteiden ja metsätieteiden tiedekunta, metsätieteiden osasto, metsätieteen pro gradu, metsä-, energia- ja puuteknologian erikoistumisala. 80 s.

TIIVISTELMÄ

Tämä pro gradu -tutkielma on osa Metsäteho Oy:n hanketta P420 - Energiapuun kosteuden määrittäminen metsäkuljetuksen yhteydessä. Hankkeen tarkoituksena on tutkia energiapuun kosteuden määrittämistä metsäkuljetuksen yhteydessä uudella purunäytteisiin perustuvalla menetelmällä. Tutkielman ensimmäisenä tavoitteena oli selvittää Humiter BLL -kosteusmittarin mittaustarkkuus kenttäolosuhteissa sekä arvioida tutkittavan kosteuden mittausten yleistettävyyttä. Toisena tavoitteena oli tehdä kustannusanalyysi menetelmän toimivuudesta käytännössä. Lisäksi tutkimuksessa selvitettiin Sakari Monosen kehittämän metsätraktorin kouraan kiinnitettävän näytteenottolaitteen ja Humimeter BLL -kosteusmittarin toimivuus kenttäolosuhteissa.

Tutkimuksen aineisto kerättiin tavallisen energiapuunkorjuun yhteydessä loka-marraskuussa 2012. Kohteita oli yhteensä kuusi, joista neljä oli latvusmassakohteita ja kaksi oli energiarakohteita. Aineisto koostuu energiapuun metsäkuljetuksen yhteydessä kuormakohtaisesti kerätyistä purunäytteistä, joista mitattiin kosteustulokset maasto-olosuhteissa Humimeter BLL -kosteusmittarilla. Maastomittausten yhteydessä kerättyjen purunäytteiden todellinen kosteus selvitettiin laboratoriossa käyttäen uunikuivausmenetelmää. Latvusmassakohteilta ajettiin yhteensä 73 kuormaa ja energiarakohteilta 38 kuormaa. Kuormia ajettiin yhteensä 111 ja tutkimuksen aineisto koostuu 111 kosteusnäytteestä.

Tutkimuksessa analysoitiin uunikuivaustulosten ja kosteusmittarilla saatujen mittaustulosten välistä riippuvuutta mittarin tarkkuuden toteutukseksi. Tulosten laskennassa ja tilastollisissa analyyseissä käytettiin SPSS-tilasto-ohjelmistoa.

Mittarilla mitattujen kosteustulosten keskiarvoksi muodostui 35,4 %. Uunikuivausmenetelmällä määritetty keskiarvokosteus koko aineistossa oli 50,1 %. Humimeter BLL -mittarilla mitatut kosteustulokset olivat keskimäärin 14,7 prosenttiyksikköä todellista kosteutta matalampia. Näytteenottomenetelmän käyttäminen lisäsi yhden latvusmassan metsäkuljetuskuorman kokonaisajanmenekkiä keskimäärin noin 21,1 %.

Humimeter BLL -kosteusmittarin tarkkuus todettiin riittämättömäksi yli 30 %:n kosteuden omaavan tuoreen latvusmassan ja energiarangan kosteuden määrittämiseen kenttäolosuhteissa. Suurin syy mittarin heikkoon tarkkuuteen oli todennäköisesti kosteusaineiston sijoittuminen mittarin toiminta-alueen ylärajalle ja osittain sen yli. Tutkimuksen kohteena ollut näytteenottomenetelmä on potentiaalinen menetelmä energiapuun ja latvusmassan kosteuden mittaamiseen metsäkuljetuksen yhteydessä. Tulosten perusteella menetelmä sopii latvusmassaa paremmin energiarangan kosteuden määrittämiseen. Menetelmän suurin ongelma on tämän tutkimuksen perusteella kosteuden mittauksen riittämätön tarkkuus. Näytteenottolaitteen kehitystyössä huomiota tulee kiinnittää purun kulkeutumisen tehostamiseen, jotta menetelmän mukanaan tuomaa ajanmenekkiä, ja samalla myös kustannuksia voidaan pienentää. Menetelmän tulevaisuuden kannalta olennaisinta on kuitenkin löytää riittävän tarkka ja luotettava kosteusmittari, joka ratkaisee kosteuden mittauksessa ilmenneet ongelmat.

Avainsanat: latvusmassa, energiarako, kosteus, metsäkuljetus, näytteenottomenetelmä, kustannus

Tuunanen, Lasse. 2013. Measurement of the moisture of energy wood and logging residue in terrain. University of Eastern Finland, Faculty of Science and Forestry, School of Forest Sciences, master's thesis in Forest Sciences, specialization Forest, energy and wood technology. 80 p.

ABSTRACT

This master's thesis is part of the Metsäteho Oy's project P420: Determining of the moisture of energy wood during forest transportation. The purpose of the project is to research the determination of the moisture of energy wood with new method based on sawdust samples. The objective of this study was to estimate the accuracy of the Humimeter BLL moisture meter. The second objective of this study was to make the expense analysis for the new moisture determination method. Third objective was to research the functionality of the new sampling device of sawdust and Humimeter BLL moisture meter. The functionality of the new moisture determination method was tested in field conditions. The sampling device was developed and built by Sakari Mononen.

The data of the study was collected in October and November 2012. The data was collected during normal energy wood forest transportation. The data was collected from six different logging areas. Four of the logging areas consisted of logging residues and two of the areas consisted of energy wood. The data consists of sawdust samples which were collected with the new sampling device. The moisture of the sawdust samples were measured with the Humimeter BLL moisture meter. The measurements were made in field conditions. Reference samples were taken from the sawdust samples. The real moisture of the sawdust samples was determined in laboratory with heating oven method.

The dependence between the moisture determined by the heating oven method and the moisture measurement results which had been measured by the moisture meter was analyzed. The calculations and statistical analyses were made with the SPSS statistic software.

The average moisture result of the data which were measured with the Humimeter BLL moisture meter was 35,4 percent. In proportion the average moisture result of the data which were measured with the heating oven method was 50,1 percent. The moisture results which were measured with the moisture meter were on average 14,7 percent lower than the results measured by the heating oven method. The usage of the new sawdust sampling method increased on average 21,1 percent of the time of logging residue forest transportation.

As a conclusion the accuracy of the Humimeter BLL moisture meter was found to be too inaccurate to determine the moisture of recently felled logging residue and energy wood in field conditions. The main reason for the inaccuracy of the meter was probably that the moisture samples were too moist for the meter. The moisture of the sawdust samples were on the upper limit of the moisture scale which the manufacturer of the meter has announced. The moisture determination method which was studied in this thesis has potential, but the biggest problem is to find solution to the moisture measurement problems. In the future main goal is to find reliable moisture meter which is accurate enough and suitable for measuring moistures over 50 percent.

Keywords: logging residue, energy wood, moisture, forwarder, sampling method, cost

ALKUSANAT

Tämä pro gradu -tutkielma on osa Metsäteho Oy:n hanketta P420 - Energiapuun kosteuden määrittäminen metsäkuljetuksen yhteydessä. Tutkimuksen taustalla on elokuussa 2012 julkaistu Metsätehon tuloskalvosarja, mikä pohjautuu syksyllä 2011 tehtyihin kosteusmittauskokeisiin. Hankkeen tarkoituksena on tutkia energiapuun kosteuden määrittämistä metsäkuljetuksen yhteydessä uudella purunäytteisiin perustuvalla menetelmällä.

Erityisesti haluan kiittää kaikkia työni ohjaajia saamastani tuesta pitkän ja monivaiheisen tutkimusprosessin aikana. Itä-Suomen yliopiston Metsäteknologian professori Teijo Palanderia haluan kiittää saamastani ohjauksesta ja tuesta, jota olen saanut koko prosessin ajan. Metsäteho Oy:n tutkija Timo Melkasta haluan kiittää avusta ja tuesta erityisesti aineiston keruun järjestämisessä. Puuteknologian yliopistotutkija Katri Luostarinen ansaitsee suuret kiitokset avusta ja ohjeistuksesta etenkin laboratoriotöiden järjestämisessä.

Haluan kiittää myös kaikkia muita tämän tutkimuksen tekoon osallistuneita sekä Metsäteho Oy:tä mahdollisuudesta olla mukana hankkeessa. Lopuksi erityinen kiitos Päiville kestämisestä ja kannustamisesta tämän prosessin aikana.

Joensuussa toukokuussa 2013

Lasse Tuunanen

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	7
1.1 Tutkimuksen taustaa	7
1.1.1 Metsäenergia-toimialan rakenne	8
1.2 Energiapuun mittauksesta	11
1.2.1 Energiapuun määrän mittaus	13
1.3 Kosteudenmittausmenetelmät	15
1.3.1 Yksivaiheiset kosteudenmittausmenetelmät	15
1.3.2. Kaksivaiheiset kosteudenmittausmenetelmät.....	18
1.4 Tutkimusongelmat ja tutkimuksen tavoite.....	20
2 AINEISTO JA MENETELMÄT	23
2.1 Aineiston keruukohteet	23
2.1.1 Latvusmassakohteet	24
2.1.2 Energiarankakohteet.....	24
2.2 Kourasovitteinen näytteenottolaite energiapuun kosteuden määrittämiseen.....	24
2.3 Humimeter BLL -kosteusmittari.....	26
2.4 Aineiston keruumenetelmä	27
2.4.1 Näytteiden kerääminen.....	27
2.4.2 Näytteiden käsittely ja kuivaus	30
2.5 Tulosten laskenta ja analysointi	31
2.5.1 Kosteusaineisto.....	31
2.5.2 Aikatutkimusaineisto ja kustannusanalyysi	36
3 TULOKSET	39
3.1 Humimeter BLL -kosteusmittarin mittaustarkkuus kenttäolosuhteissa.....	39
3.1.1 Näytteen koostumuksen vaikutus kosteustuloksiin.....	49
3.1.2 Latvusmassan ja energiarangan kuivumisajan vaikutus kosteustuloksiin.....	51
3.1.3 Näytteen tilavuuden vaikutus kosteustuloksiin	53
3.1.4 Kokoomanäytteet	55
3.2 Purun kertyminen ja näytekoko	56
3.3 Näytteenottomenetelmän ajanmenekki ja kustannusanalyysi.....	57
3.3.1 Ajanmenekki	57
3.3.2 Kustannusanalyysi.....	61

4 TULOSTEN TARKASTELU JA JOHTOPÄÄTÖKSET	65
4.1 Humimeter BLL -kosteusmittarin mittaustarkkuus kenttäolosuhteissa.....	65
4.2 Näytteenottomenetelmän ajanmenekki ja kustannusanalyysi.....	69
4.2.1 Ajanmenekki	69
4.2.2 Kustannusanalyysi.....	70
4.3 Käytännön työohjeet menetelmän testikäytölle	71
4.4 Johtopäätökset.....	74
KIRJALLISUUS	76
LIITTEET	80

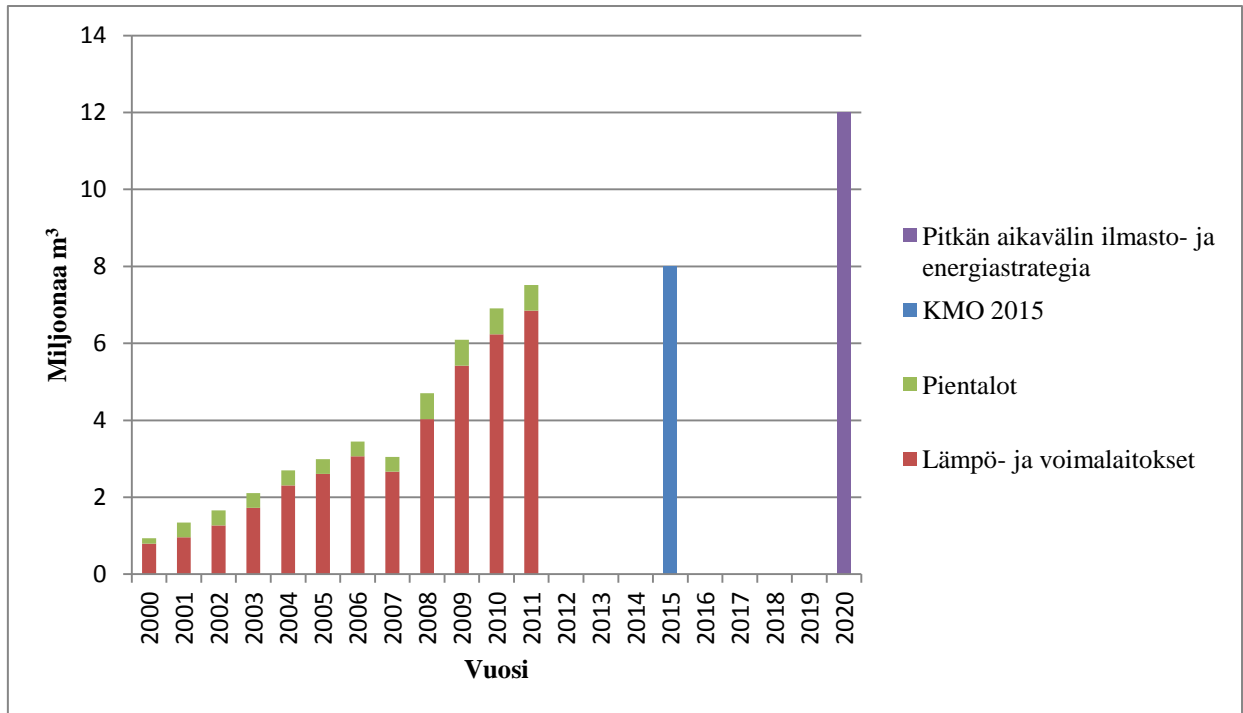
1 JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen taustaa

Metsäenergialla tarkoitetaan oksista, latvuksista, rangoista ja kannoista polttamalla saatavaa energiaa. On hyvä huomata, että metsäenergia on vain osa puuperäisillä raaka-aineilla tuotetusta energiasta. Metsäenergian ohella puuperäisiä raaka-aineita, joita käytetään energiantuotannossa, ovat esimerkiksi metsäteollisuuden toiminnan sivutuotteina syntyvät mustalipeä, puun kuori ja sahanpuru. Suomen kokonaisenergiankulutuksesta noin 23 prosenttia katettiin puuperäisillä polttoaineilla vuonna 2011 (Energian hankinta ja kulutus 2011). Metsäenergialla katetaan kokonaisenergiankulutuksesta noin kahdeksan prosenttia (Metsätilastollinen vuosikirja 2012). Suomi on Ruotsin ohella Euroopan unionin johtavia maita puuperäisillä polttoaineilla tuotetun energian hyödyntämisessä (Bioenergian verkkopalvelu 2012).

Energiantuotannossa käytetyistä puuperäisistä polttoaineista noin 43 prosenttia on metsäteollisuuden jätelientä eli sulfaattiselluloosan tuotannossa syntynyttä mustalipeää. Metsäteollisuuden energiantuotannossa puuperäisten polttoaineiden osuus on huomattava, sillä vuodesta 1999 lähtien niiden osuus metsäteollisuuden käyttämistä polttoaineista on ollut yli 70 prosenttia ollen 78 prosenttia vuonna 2011 (Metsätilastollinen vuosikirja 2012).

Energiapuulle on tyypillistä, että metsästä saadut rangat, kannot ja oksat haketetaan ennen käyttöä eli niistä tehdään metsähaketta. Metsähakkeen osuus energiantuotannosta on kasvanut merkittävästi viimeksi kuluneen reilun kymmenen vuoden aikana. Esimerkiksi vuonna 2000 metsähaketta korjattiin vain noin 0,9 miljoonaa kuutiometriä, kun taas vuonna 2011 metsähakkeen käyttö oli kasvanut jo 7,5 miljoonaan kuutiometriin (kuva 1). Suurin osa metsähakkeesta, yli 90 prosenttia, käytetään lämpö- ja voimalaitoksissa ja loppuosuus käytetään kotitalouksissa lämmitykseen. Vuonna 2011 lämpö- ja voimalaitoksissa käytettiin metsähaketta 6,8 miljoonaa kuutiometriä ja se onkin merkittävin lämpö- ja voimalaitosten käyttämä puupolttoaine (Metsätilastollinen vuosikirja 2012). Metsähakkeen toteutuneet käyttömäärät ja hakkeen käytön lisäämiselle asetetut tavoitteet esitetään kuvassa 1.



Kuva 1. Metsähakkeen toteutunut käyttö Suomessa vuosina 2000–2011 ja kansallisen metsäohjelma 2015:n (KMO 2015) sekä pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategian mukaiset tavoitteet käytön lisäykselle (Metsätilastollinen vuosikirja 2012, Kansallinen metsäohjelma 2015.)

Perinteisin ja tunnetuin tapa käyttää puuta energiantuotantoon on kotitalouksien ja muiden kiinteistöjen lämmityksen pienkäyttö. Useissa talouksissa puulämmitys on sähkölämmityksen rinnalla sitä tukevana lämmitysmenetelmänä. Puun käyttö kiinteistöjen ainoana lämmitystapana on viime vuosikymmeninä vähentynyt merkittävästi kaukolämmön ja sähkölämmityksen yleistymisen seurauksena. Yhtenä metsäenergian lämmitysovelluksena on puupellettien hyödyntäminen. Suomessa pellettejä ei ole laajamittaisesti käytetty kaukolämmön tai sähkön tuotannossa, mutta kotitalouksissa ja maatalouksissa pellettipolttimia on käytössä. Myös kierrätyspuu on merkittävä energiajake, sillä puutuotteet ja -rakenteet voidaan käytön jälkeen hyödyntää energiana polttamalla ne (Energiateollisuus 2013).

1.1.1 Metsäenergia-toimialan rakenne

Suomi on ollut pioneeri puunkorjuun ja puun polttoteknologian kehittämisessä, ja tämän ansiosta Suomesta on tullut johtava maa metsäenergian hyödyntämisessä. Metsäteollisuus on toiminut metsäenergian hyödyntämisen eteenpäin vievänä voimana ja esimerkkinä, sillä metsäteollisuus on jo kauan aikaa hyödyntänyt toimintansa sivutuotteina syntyvät energiajakeet omassa energiantuotannossaan tuottamalla niiden avulla teollisuuden tarpeisiin sähköä, läm-

pöä sekä prosessihöyryä Metsäteollisuus on panostanut jo pitkään metsäenergia-alaan ja tuloksena Suomeen on rakennettu metsäenergian markkinat. Metsäteollisuus on yhdistänyt puuraaka-aineen ja metsäenergian hankinnan kustannustehokkaasti, mikä on antanut metsänomistajille mahdollisuuden hyödyntää metsiään aiempaa monipuolisemmin. Energiapuun hankinta on tarjonnut uusia mahdollisuuksia myös metsäkoneyrittäjille. Energiapuun korjuun, kuljetusten ja energiantuotannon tehostuminen on tehnyt mahdolliseksi metsäenergialle maksettavan hinnan ja luonut siten lisätulonlähteen metsänomistajille (Metsäteollisuus 2006).

Keskeiset toimijat metsäenergiamarckkinoilla ovat ainespuumarckkinoiden tapaan suurten metsäteollisuusyritysten puunhankintaorganisaatiot. UPM Kymmene, Stora-Enson ja Metsä Groupin ohella merkittäviä toimijoita ovat Harvestia ja Vapo. Lisäksi L & T Biowatti on erikoistunut harvennusleimikoiden ja erityisesti energiapuuleimikoiden hankintaan. Yhtiöiden lisäksi paikallisesti toimivat energiaosuuskunnat hankkivat energiapuuta poltettavaksi yksityisissä voimaloissaan. Esimerkiksi Pohjois-Karjalan alueella toimii yhdeksän energiaosuuskuntaa (Pellervo 2013). Suurten yhtiöiden etuna on laajan ja toimivan hankinta- ja korjuuorganisaation lisäksi se, että energiapuun korjuu on helppo yhdistää ainespuun korjuuseen. Pienten toimijoiden on vaikeampi saada päätehakkualoilta kerättäviä hakkuutähteitä itselleen, koska usein ainespuun korjuun hoitaa suuret toimijat. Useimmiten pienempien yritysten onkin parempi erikoistua hankkimaan raaka-aineensa energiapuuharvennuskohteilta.

Metsäenergiamarckkinat ovat nopeassa kehitysvaiheessa, joten aktiivinen panostaminen metsäenergian hyödyntämisen kasvattamiseen on tärkeää. Metsäteollisuusyritykset ovat kehittäneet ja kehittävät jatkuvasti energiapuun hankintatoimintaa sekä korjuumenetelmiä, unohtamatta korjuussa tarvittavan teknologian kehitystyötä (Metsäteollisuus 2006).

Valtaosa metsäenergiasta saadaan metsäteollisuuden raaka-aine- ja tuotantoketjun yhteydessä sivutuotteena. Metsähaketta saadaan kustannustehokkaimmin kuusikoiden päätehakkualojen hakkuutähteistä sekä kannoista. Harvennushakkuiden yhteydessä poistetun puun hyödyntäminen energiana on kalliimpaa kuin päätehakuilla, koska puun korjuu on hitaampaa harvennushakuilla. Toisaalta metsäenergian käytön suurin kasvupotentiaali on juuri harvennushakkuilta kerättävän energiapuun käytön lisäämisessä (Energiateollisuus 2013).

Suurin osa, noin 60 prosenttia, metsähakkeesta tehdään hakkuutähteistä eli päätehakuissa korjattujen puiden oksista ja latvoista. Loput, noin 40 prosenttia, tehdään karsimattomasta

rangasta eli niin sanotusta pienpuusta, kannoista ja juurakoista, järeistä runkokuusta sekä karstuista rangoista. Arvioiden mukaan yli 60 prosenttia käytetystä metsähakkeesta kerätään päätehakkuualoilta, kymmenen prosenttia tulee energiapuuharvennuksilta, kuten esimerkiksi nuoren metsän kunnostuskohteilta, ja loput kerätään harvennushakkuukohteilta (Suomen Metsäyhdistys 2013).

Vaikka hakkuutähteitä kerätäänkin, valtaosa niistä jää edelleen metsään. Laskelmien mukaan Suomen päätehakkuissa syntyy vuosittain 14 miljoonaa kiintokuutiometriä hakkuutähteitä. Metsähakkeen raaka-ainelähdetaulukon mukaan laskettuna syntyneistä hakkuutähteistä kerättiin talteen energiapuuksi noin 16 prosenttia vuonna 2011. Kantoja syntyy päätehakkuissa vuosittain 15 miljoonaa kiintokuutiometriä ja niistä korjattiin hyötykäyttöön noin kuusi prosenttia vuonna 2011. (Suomen Metsäyhdistys 2013.)

Teoriassa metsähakkeen tuotannon saavutettavissa olevana maksimitasona pidetään 25 miljoonaa kuutiometriä vuodessa. Tekniset ja taloudelliset seikat huomioiden järkevä vuotuinen korjuumäärä, mikä vuodessa on mahdollista kerätä, on noin 15 miljoonaa kuutiometriä. Vuonna 2011 metsähaketta käytettiin 7,5 miljoonaa kuutiometriä. (Suomen Metsäyhdistys 2013.)

Metsäenergia-alan kasvun suurimpana haasteena on se, että ala on liian riippuvainen metsäteollisuuden suhdanteista. Tällä hetkellä lähes kaikki puusta saatava energia tuotetaan metsäteollisuuden toiminnan sivutuotteena. Metsäteollisuuslaitosten toiminnasta syntyvän sivutuotteen määrän ei odoteta kasvavan tulevaisuudessa, koska teollisuuden tuotantomäärät eivät ole kasvussa. Tästä johtuen puuta täytyisi saada korjattua lisää etenkin nuorista kasvatusmetsistä. Tulevaisuudessa harvennushakkuut ovat jäämässä vähemmistöön ja puolet hakkeesta tai jopa enemmänkin tulee ensiharvennuskohteilta. (Metsäteollisuus 2006.)

Puupolttoaineilla on useita erityispiirteitä. Metsäenergia on muiden puusta saatavien polttoaineiden tavoin kotimaista, joten sen käyttö vähentää Suomen riippuvuutta tuontipolttoaineista ja lisää työllisyyttä haja-asutusalueilla. Lisäksi puu on ympäristöystävällinen polttoaine. Haittapuolena on, että puun lämpösisältö on selvästi matalampi kuin fossiilisilla polttoaineilla ja puupolttoaineessa voi olla jopa 60 prosenttia vettä, mikä lisää muun muassa kuljetuskustannuksia ja heikentää energian saantia. Puu on paikallinen polttoaine, sillä sen kuljettaminen kauas ei ole taloudellisesti kannattavaa. Puupolttoaineiden saatavuus ja kysyntä vaihtelevat

alueittain, mistä johtuen myös hintataso vaihtelee eri alueiden välillä. Puupolttoaineilla voidaan korvata erityisesti turvetta, mikäli puuta on saatavilla kilpailukykyiseen hintaan. Teollisuuden sivutuotteita lukuun ottamatta metsäenergian kilpailukykyyn polttoaineena vaikuttaa valtion taloudellinen tuki. (Energiateollisuus 2013.)

Parhaillaan meneillään oleva ilmastonmuutos kasvattaa metsäenergian merkitystä tulevaisuudessa. Lähes 80 prosenttia Suomen kasvihuonekaasupäästöistä syntyy energiantuotannosta aiheutuvista päästöistä. Ilmaston lämpenemistä edistäviä kasvihuonekaasupäästöjä syntyy erityisesti fossiilisten polttoaineiden kuten kivihiilen ja öljyn poltossa. Näiden päästöjen vähentämiseksi uusiutuvien energialähteiden käytön lisääminen on erityisen tärkeää. Poltettaessa fossiilisia, uusiutumattomia energialähteitä niihin sitoutunut hiilidioksidi vapautuu ilmakehään ja pahentaa näin osaltaan kasvihuoneilmiötä. Metsäenergia on uusiutuvaa energiaa. Puun poltosta syntyvät hiilidioksidipäästöt luokitellaan ilmastopolitiikassa kasvihuonekaasujen osalta neutraaleiksi, sillä puun lahotessa tai sitä poltettaessa ilmakehään vapautuva hiilidioksidi sitoutuu toisiin kasvaviin puihin. Puun käyttö energiantuotannossa ei lisää ilmakehän hiilidioksidipitoisuutta, kunhan pidetään huolta siitä, että metsät kasvavat vähintään yhtä paljon kuin niitä hyödynnetään. Suomessa metsien vuotuinen kasvu on ylittänyt käytön reilusti jo vuosien ajan. (Suomen Metsäyhdistys 2013; Energiateollisuus 2013.)

1.2 Energiapuun mittauksesta

Energiapuunmittauksessa käytetään monenlaisia suureita, joista tärkeimpiä ovat tilavuuden, massan ja energiasisällön ilmaisevat suureet. Mittauksia tehdään eri tarkoituksiin, ja kussakin mittauksessa tulos ilmoitetaan tarkoitukseen parhaiten sopivalla suureella. Esimerkiksi tuotantoketjun alkupäässä puunmyyjän ja ostajan on ollut luontevinta mitata energiapuuta tilavuusyksiköissä, mutta lämpö- ja voimalaitosten osalta käytetyin ja niiden kannalta hyödyllisin mittasuure on materiaalin energiasisältö. Puutavaran massan mittaus yleistyi puutavarankuljettuksessa kuormainvaakojen yleistymisen myötä, mikä toi uusia mahdollisuuksia myös energiapuun mittauksen kehittämiseen. Kuormainvaakamittaus sopii tarkkuutensa puolesta hyvin energiapuunmittaukseen, mutta materiaalin tuoretiheyden vaihtelun on oltava pientä (Heikkilä ym. 2004). Mittausmenetelmässä mitattavan erän massa muutetaan tilavuudeksi muuntolukujen avulla. Tilavuuden määrittäminen tarkentuu, mikäli käytössä on tieto mitattavan materiaalin kosteudesta.

Nopean käytön kasvun myötä metsähake on saavuttanut merkittävän aseman markkinoilla ja siitä on kehittynyt oma tavaralajinsa, jota voidaan verrata perinteisiin ainespuutavaralajeihin. Nopea markkinoiden kehitys ja käyttömäärän kasvu ovat kuitenkin tuoneet esiin energiapuunhankinnassa ilmeneviä epäkohtia, sillä energiapuunhankinta toimii osin vieläkin vailla vakiintunutta käytäntöä. Metsäenergia-alan vakiintumattomat ja toistaiseksi puutteelliset energiapuunhankinnan menettelytavat vaativat kehittämistä, sillä muutoin ne voivat rajoittaa energiapuun hankinta- ja käyttömäärien kasvua.

Eniten kehitettävää energiapuunhankinnassa on määrän ja laadun mittauskäytännöissä. Energiapuun kuten muunkin biomassan ominaisuudet ja määrä muuttuvat hankintaketjun eri vaiheissa ja näiden muutosten havaitsemiseen käytetään useita erilaisia mittasuureita (Hakkila 2006). Hakkilan (2006) mukaan metsäkuljetus on latvusmassahakkeen tuotantoketjussa kaikkein ongelmallisin mittauskohde. Monet tuottajat noudattavat kaksivaiheista mittauskäytäntöä latvusmassahakkeelle, koska hakettamattoman latvusmassan mittaustarkkuus ei ole tyydyttävä. Yleisenä käytäntönä on, että tienvarsivarastoon kuljetetulle latvusmassalle tehdään arviomittaus ja lopullinen mittaustulos saadaan vasta haketuksen yhteydessä tehtävässä tarkastusmittauksessa. Näiden mittausten välillä voi kulua paljonkin aikaa, jolloin latvusmassassa tapahtuu materiaalihäviötä.

Hakkilan (2006) mukaan energiapuun tuotantoketjun eri vaiheissa käytettäviä mittasuureita ovat kiintotilavuus, pinotilavuus, irtotilavuus, tuoremassa, kuivamassa sekä energiasisältö. Koska biomassan ominaisuudet muuttuvat hankintaketjun edetessä, kaikkia mittaustarpeita ei voida tyydyttää yhdellä ainoalla mittaustoimenpiteellä. Tuotantoprosessin seurannasta tulisi kuitenkin selkeämpää, mikäli käytössä olisi yhteisesti hyväksytyt viralliset muuntoluvut energiapuun mittauksessa käytettävien suureiden välille.

Energiapuun mittauksen yhdenmukaistamistarpeet kohdistuvat myös ainespuun mittauksessa tarvittavien kauppahintojen ja työsuoritteiden määrittämiseen. Ongelma energiapuun kohdalla on siinä, että kauppahinnan määräävä luovutusmittaus ja työmittauksella määritettävä työsuorite ovat kustannusjakaumaltaan toisenlaiset kuin ainespuun mittauksessa. Energiapuu on hankintaketjun alussa edullinen raaka-aine, josta maksettava korvaus on pieni verrattuna koko leimikon kantorahakertymään, mikäli ainespuukaupan yhteydessä on sovittu energiapuun korjuusta. Tämän vuoksi luovutusmittauskustannusten pitää pysyä pieninä eikä energiapuun mittauksessa ole järkevää tavoitella ainespuun mittauksessa vaadittavaa tarkkuutta. Metsänomis-

taja hyöttyy energiapuunkorjuusta pienten kantorahatulojen lisäksi myös välillisesti, sillä metsänuudistamiskustannukset alenevat. Työmittauksen kannalta tilanne on aivan toisenlainen, koska energiapuun korjuun ja kuljetuksen yksikkökustannukset ovat heikomman tuottavuuden vuoksi korkeammat kuin ainespuun. (Hakkila 2006.)

Energiapuun hankinnan kehittymistä on vaikeuttanut myös se, että sen käyttöä ei ole säädelty lainsäädännöllä. Esimerkiksi hakkuutyömaalta kerättävä latvusmassa ei ole kuulunut puutavaranmittauslain soveltamisalaan (Puutavaranmittauslaki 1991). Käytännössä lakia on kuitenkin voitu soveltaa myös runkopuun oksien eli latvusmassan mittaamiseen, mikä käy ilmi hallituksen esityksestä eduskunnalle laiksi puutavaranmittauslain muuttamisesta (Hallituksen esitys... 1996). Vuonna 2008 otettiin ensimmäiset askeleet kohti yhtenäisempiä toimintatapoja, kun keskeiset metsä- ja energia-alan toimijat tekivät sopimuksen energiapuun mittauksesta (Energiapuun mittauksen... 2008). Sopimuksella sovittiin energiapuun mittauksen yleisistä periaatteista ja menettelytavoista. Samassa yhteydessä muodostettiin myös muun muassa mittausmenetelmien hyväksymisestä vastaava energiapuun mittausoimikunta. Energiapuun mittauksesta tehty sopimus ja energiapuun mittausopas ovat vakiinnuttaneet energiapuun mittauskäytäntöjä (Lindblad ym. 2010).

Vakiintumattomiin käytäntöihin on kuitenkin tulossa muutos, sillä puutavaranmittauslakia ollaan parhaillaan uudistamassa. Hallitus antoi joulukuussa 2012 eduskunnalle esityksensä laiksi puutavaran mittauksesta (Maa- ja metsätalousministeriö 2013). Mikäli esitys hyväksytään, astuu uusi laki voimaan 1.7.2013. Esityksen mukaan puutavaran mittauksista koskeva lainsäädäntö uudistettaisiin ja siitä tehtäisiin yhteensopiva muun muassa mittauslaitelain kanssa. Tärkeänä uudistuksena energiapuun mittaus otettaisiin mukaan lainsäädännön piiriin ja mittausmenetelmät ja tarkkuusvaatimukset määritellään vastaamaan nykyaikaa (Hallituksen esitys... 2012).

1.2.1 Energiapuun määrän mittaus

Energiapuun mittaus -oppaassa (Lindblad ym. 2010) kuvattu energiapuun massan mittaus on yleisesti käytetty ja tarkkuudeltaan riittävä menetelmä energiapuun työ- ja luovutusmittaukseen. Menetelmällä määritetään energiapuuerän tuoremassa ja kuorellinen kiintotilavuus. Energiapuun tuoremassa mitataan lähi- tai kaukokuljetuksen yhteydessä yleensä metsätraktorin tai puutavara-auton kuormaimen asennetulla kuormainvaalla. Muussa tapauksessa mi-

tattavan erän massa voidaan mitata punnitsemalla ajoneuvo kuormattuna ja tyhjänä, jolloin mittauserän massa on näiden massojen erotus. Menetelmä mahdollistaa mittauserän massan muuntamisen tilavuudeksi muuntolukujen avulla. Muuntolukuina käytetään tuoretiheyttä (massa tuoreena / tilavuus tuoreena) ja kuiva-tuoretiheyttä (massa kuivana / tilavuus tuoreena) (Kärkkäinen 2007).

Latvusmassan ja harvennusenergiapuun tilavuuden määrittämisessä käytettävät tuoretiheysluvut on esitetty taulukkoarvoina energiapuun mittaus -oppaassa (Lindblad ym. 2010). Mittaus-erälle käytettävän tuoretiheysluvun määrittäminen aloitetaan valitsemalla hakkuuajankohdan mukainen sarake taulukosta. Tämän jälkeen arvioidaan erän kosteus, jonka perusteella mitattavalle erälle valitaan painoluokka (1–7). Painoluokkien jaottelu perustuu viiden kosteusprosenttiyksikön portaisiin. Kun mitattavan energiapuuerän kosteus on arvioitu ja painoluokka valittu taulukosta, seuraavassa vaiheessa määritetään erän kuivumisajanjakson pituus eli aika-väli hakkuun ja mittauksen välillä. Lisäksi huomioidaan vierasaineiden, kuten lumen ja jään, osuus. Kun nämä on määritetty, niin taulukosta nähdään mitattavan energiapuuerän tuoretiheysluku. Taulukoihin painoluokittain jaetut tuoretiheysluvut vaihtelevat 600 kg/m^3 ja 1050 kg/m^3 välillä. Tuoretiheysluvun määrittämisessä tärkein vaihe on oikean kosteuden ja siten oikean painoluokan valinta. Puu on hygroskooppista eli vettä imevää ainetta, joten sen massa riippuu puun sisältämästä kosteudesta eli veden määrästä puussa. Lisäksi puuaineen kosteus on jatkuvassa muutostilassa pyrkien saavuttamaan tasapainotilan vallitsevan lämpötilan ja ilmakehän kosteuden kanssa, minkä seurauksena myös puun tuoretiheys vaihtelee (Kärkkäinen 2007). Pääsääntöisesti puun tuoretiheys alenee, ellei puu ole kosketuksessa veden kanssa.

Kosteuden mittauksen tarkkuus ja oikea-aikaisuus paranevat, kun latvusmassan ja harvennusenergiapuun kosteus määritetään mittauseräkohtaisesti sopivan otannan avulla. Menetelmä mahdollistaa myös latvusmassan tuoretiheyden määrittämisen mittauseräkohtaisesti taulukoitujen tuoretiheyslukujen sijaan. Myös mittauserän tilavuuden määrittäminen tarkentuu, kun kuormainvaa'alla mitattu tuoremassa muunnetaan kosteustiedon ja kuiva-tuoretiheysluvun avulla tilavuudeksi. Lisäksi mitattu tieto latvusmassan kosteudesta mahdollistaa mittauserän kuivamassan sekä energiasisällön aiempaa tarkemman määrityksen.

Energiapuun ja etenkin latvusmassan kosteuden määrittäminen on haastavaa jo pelkästään mitattavan materiaalin fyysisten ominaisuuksien vuoksi. Mittauksen suorittaminen on ylimääräinen työvaihe, joka lisää kustannuksia. Saatavilla ei ole ollut latvusmassan kosteuden mit-

taamiseen soveltuvia ja riittävästi testattuja mittalaitteita, joilla mittaukset voitaisiin suorittaa maastossa, vaan luotettava kosteuden määrittäminen on vaatinut laboratorio-olosuhteita.

1.3 Kosteudenmittausmenetelmät

Kosteus on polttohakkeen tärkein laatuominaisuus (Alakangas 2000). Puussa olevan kosteuden haihduttaminen vaatii energiaa, mikä etenkin energiantuotannossa heikentää tuottavuutta. Tehollinen lämpöarvo ilmaisee massayksikköä kohti vapautuvan lämpömäärän (J/kg) puuta poltettaessa, kun palamisessa puun sisältämästä vedystä muodostuva vesi ja puun sisältämä vesi höyrystyvät. Puun kosteaa massaa kohti lasketun tehollisen lämpöarvon ja kosteuden riippuvuus on suoraviivainen: lämpöarvo laskee kosteuden kasvaessa (Kärkkäinen 2007). Kostean puun polttaminen laskee uunin lämpötilaa ja matalissa lämpötiloissa palaminen on usein epätäydellistä, mikä johtaa polttoprosessista saatavan lämpöhyötysuhteen laskuun. Vaikka poltettavan puun tai hakkeen kosteuden alentaminen ennen polttoa on tavoittelemisen arvoista, se ei kuitenkaan ole aina käytännössä mahdollista tai taloudellisesti kannattavaa. Puupolttoaineen kosteuspitoisuuden vaihteluiden vuoksi tehokas hakkeen poltto vaatii hyvää prosessien hallintaa (Williamson 2006).

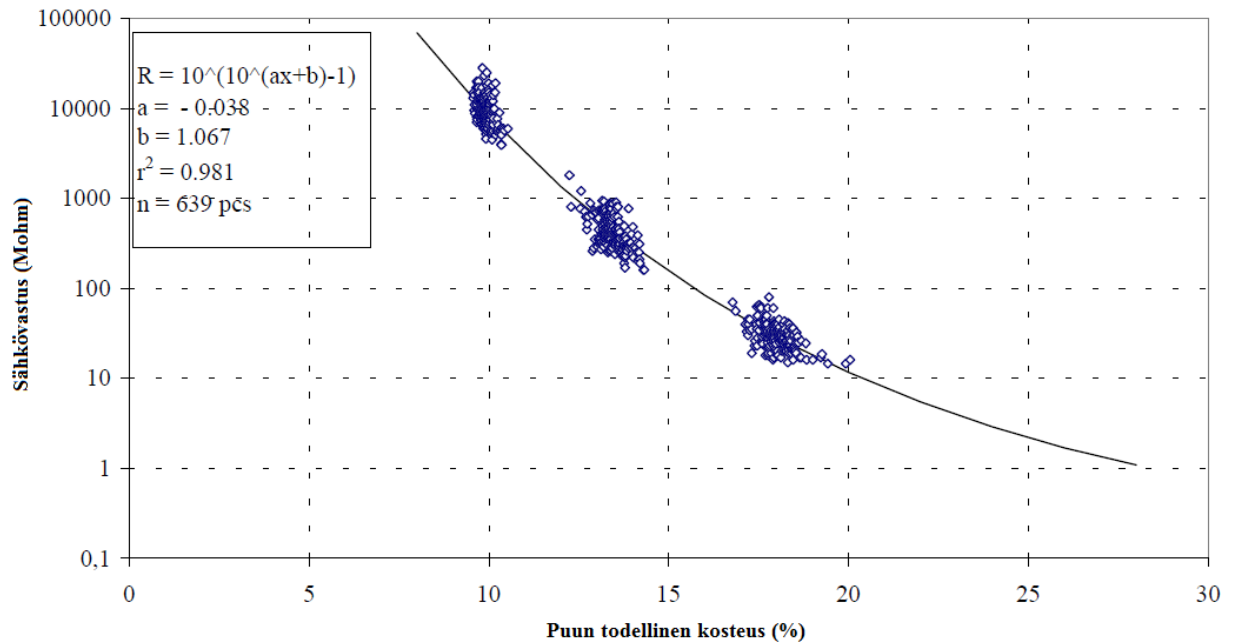
Puun kosteuden mittaamiseen on kehitetty useita erilaisia menetelmiä, koska mittaukselta vaadittava nopeus, tarkkuus ja helppokäyttöisyys vaihtelevat paljon. Esimerkiksi Nyström ja Dahlquist (2004) esittelevät tutkimuksessaan seitsemän eri menetelmää hakkeen kosteuden määrittämiseksi voimalaitoksella. Puun kosteus joudutaan mittaamaan usein sekä puutuoteteollisuudessa että puutieteellisissä tutkimuksissa. (Kärkkäinen 2007.) Kosteuden mittaamisessa käytetyt menetelmät voidaan Kärkkäisen (2007) mukaan jakaa yksivaiheisiin ja kaksivaiheisiin menetelmiin. Yksivaiheisissa menetelmissä kosteus tai kosteussuhde pyritään määrittämään suoraan eli mittaamatta erikseen puussa olevan veden massaa ja puun massaa. Kaksivaiheisissa menetelmissä veden massa ja puun massa mitataan kumpikin erikseen. Kaksivaiheinen menetelmä on vanhin ja luotettavuutensa ansiosta eniten käytetty menetelmä kosteuden mittaamiseksi laboratorioissa.

1.3.1 Yksivaiheiset kosteudenmittausmenetelmät

Yksivaiheisia kosteudenmäärittämenetelmiä on useita ja ne voivat perustua hyvinkin erilaisiin suureisiin. Yksivaiheisia kosteudenmittausmenetelmiä käytettäessä tavoitellaan yleensä

kaksivaiheisiin menetelmiin verrattuna nopeampaa ja helpompaa kosteuden määrittystä (Kärkkäinen 2007). Aikaa säästävä ja nopea kosteuden määrittys antaa vapauksia mittaukseen ja mahdollistaa mittausten toteuttamisen myös maasto-olosuhteissa esimerkiksi kädessä pidettävän kosteusmittarin avulla. Yksivaiheisista kosteudenmäärittysmenetelmistä käytetyimmät sovellukset perustuvat puun sähköisten ominaisuuksien mittaamiseen erityisillä kosteusmittareilla. Yhteistä näille laitteille on, että niillä mitataan materiaalin ominaisuutta, joka on riippuvainen kosteudesta. Useimmiten mittaaminen perustuu puun sähkövastuksen, puun ja veden välisen dielektrisyysvakion tai siihen läheisesti liittyvän tehokertoimen mittaamiseen. (Forsén & Tarvainen 2000, Jensen ym. 2006.)

Kosteuden mittaaminen sähkövastuksen avulla perustuu siihen, että kosteuden kasvaessa puun sähkövastus alenee hyvin jyrkästi (kuva 2). Käytännössä sähkövastuksen mittaamiseen perustuvat mittarit eivät ole kovin tarkkoja, koska kosteus jakautuu epätasaisesti näytteessä ja sähkövastus määräytyy kuivemmassa kohdassa olevan elektrodin mukaan (Nordberg 1999). Lisäksi lämpötila vaikuttaa merkittävästi puun sähkövastukseen, sillä lämpötilan noustessa puun sähkövastus laskee. Esimerkiksi tehtäessä sähkövastukseen perustuvia kosteusmittauksia 20 °C:sta poikkeavissa lämpötiloissa tarvittava lämpötilakorjaus on 0,1–0,15 prosenttiyksikköä Celsius-astetta kohden (Forsén & Tarvainen 2000). Puuaineen tiheydellä ei ole merkittävää vaikutusta puun sähkövastukseen. Puun sähkövastuksen mittaukseen perustuvilla menetelmillä ei voi hallita laajaa kosteusaluetta. Kun puussa on hyvin vähän vettä, sähkövastus on liian suuri mitattavaksi ja vastaavasti puun kosteuden ollessa puun syiden kyllästymispisteen yläpuolella sähkövastus riippuu vain vähän kosteudesta. (Kärkkäinen 2007.) Puulajien välillä on huomattavia eroja sähkövastuksessa ja mittareita joudutaan kalibroimaan, jotta ne sopivat eri puulajeille. Euroopassa yleisillä puulajeilla erot ovat kuitenkin pieniä ja tarve puulajin huomiomiselle on pieni (Forsén & Tarvainen 2000).



Kuva 2. Pohjoismaisen kuusen sähkövastuskäyrä (Forsén & Tarvainen 2000). Kuvassa puun sähkövastus on kuvattu kosteuden funktiona.

Dielektrisiä ominaisuuksia mittaavien kosteusmittarien toiminta perustuu siihen, että veden dielektriset ominaisuudet poikkeavat olennaisesti kuivan puun arvoista normaaleissa lämpötiloissa. Dielektrisiä ominaisuuksia mittaavilla mittareilla ei kuitenkaan voi mitata jäätynyttä puuta, koska jään suhteellinen dielektrisyysvakio on lähellä puun vastaavaa arvoa. Dielektrisiä ominaisuuksia mittaavia laitteita on kahta eri tyyppiä. Kapasitanssi-tyypin mittarit mittaavat dielektrisyysvakiota ja tehohäviö-tyypin mittarit mittaavat dielektrisyysvakion ja häviötekijän yhteisvaikutusta (Forsén & Tarvainen 2000). Dielektrisiä ominaisuuksia mittaavista laitteista yleisimpiä ovat tehokertoimen mittaamiseen perustuvat laitteet, joilla mitataan puun sisältämän veden aiheuttamia muutoksia mittalaitteen avulla luodussa sähkökentässä. Pelkistetyimmillään kosteusmittari koostuu kahdesta vaihtovirtalähteeseen kytketystä anturista. Antureiden välille asetetaan mitattava näyte, jonka läpi johdetaan vaihtovirta. Näytteen kosteus määritetään vertaamalla sähkökentässä tapahtuvaa tehohäviötä tilanteeseen, jossa antureiden välillä on ilmaa tai tyhjiö (Jensen ym. 2006). Tehokerroin riippuu voimakkaasti lämpötilasta ja mittauksessa käytetystä vaihtovirran taajuudesta, minkä lisäksi puun tiheys vaikuttaa tuloksiin huomattavasti. Toisin kuin sähkövastusta mitattaessa puulajin merkitys tuloksiin on vähäinen, kun puun tiheys on vakio. Dielektrisiin ominaisuuksiin perustuvalla kosteuden mittauksella voidaan hallita laajempi kosteuden vaihtelualue kuin sähkövastuksen mittauksella. (Kärkkäinen 2007.)

Uudempia yksivaiheisia kosteudenmittausmenetelmiä ovat mikroaaltomenetelmä, infrapuna-aaltomenetelmä ja ydinmagneettiseen resonanssiin perustuva menetelmä. Näistä ei kuitenkaan vielä ole olemassa helposti siirrettäviä ja maasto-olosuhteisiin sopivia sovelluksia. Mikroaaltomenetelmä perustuu veden ja puun erilaisten dielektristen ominaisuuksien mittaamiseen aivan kuten edellä kuvattu dielektristen ominaisuuksien mittaamiseen perustuva kosteudenmääritysmenetelmä. Erona on se, että dielektrisiä ominaisuuksia mitataan korkeammilla taajuuksilla. Infrapuna-aaltomenetelmässä hyödynnetään veden ominaisuutta absorboida tietyillä aallonpituuksilla tulevaa säteilyä erittäin tehokkaasti. Menetelmän periaatteena on mitata infrapunasäteilyn heijastuma näytteestä, ja päätellä tästä veden määrä näytteessä. Tarkkuudeltaan parhaisiin tuloksiin nykyisillä laitteilla on päästy hyödyntämällä ydinmagneettista resonanssia (NMR). Menetelmän tarkkuus on verrattavissa uunikuivausmenetelmällä saavutettavaan tarkkuuteen. Menetelmä perustuu molekyylien käyttäytymiseen homogeenisessä magneettikentässä, johon energia siirretään radiotaajuisena aaltoliikkeenä. (Kärkkäinen 2007.) Yksivaiheisia kosteudenmittausmenetelmiä ovat tarkastelleet esimerkiksi Järvinen ym. (2008) sekä Korpi-lahti & Melkas (2010).

1.3.2. Kaksivaiheiset kosteudenmittausmenetelmät

Yksinkertaisin ja myös eniten käytetty kosteudenmittausmenetelmä on niin sanottu lämpökaappimenetelmä. Suomalaisessa kirjallisuudessa ja tässä tutkimuksessa siitä käytetään myös nimitystä uunikuivausmenetelmä. Kaksivaiheisessa menetelmässä puun massa mitataan kosteana (tuoremassa), minkä jälkeen puu kuivataan lämpökaapissa ja puun massa mitataan uudelleen kuivauksen jälkeen (kuivamassa). Puun kosteus lasketaan tuore- ja kuivamassan erotuksen perusteella. (Kärkkäinen 2007.) Kosteuden laskentakaava on esitetty kaavassa 1. Jensenin ym. (2006) tekemän tutkimuksen mukaan uunikuivausmenetelmä kuvataan useissa kiinteille biopolttoaineille laadituissa kosteuden määritysstandardeissa ja se on laajalti hyväksytty ja todettu luotettavaksi. Uunikuivausmenetelmä mainitaan esimerkiksi metsäpolttoaineille laaditussa näytteenotto ja -näytekäsitelystandardien soveltamisohjeessa (Järvinen & Impola 2012). Uunikuivausmenetelmän etuina pidetään sen tarkkuutta ja riippumattomuutta useista muuttujista, kuten materiaalin tiheydestä tai ympäröivästä lämpötilasta. Tämän ansiosta uunikuivausmenetelmä on yksi luotettavimmista kosteuden määritysmenetelmistä. Menetelmällä mitattua kosteustulosta käytetään usein vertailutuloksena, kun vertaillaan muilla menetelmillä saatuja kosteustuloksia.

Näytteiden kosteus, M_{ar} , ilmoitettuna massaprosentteina kosteaa ainetta kohti lasketaan seuraavan kaavan avulla (Alakangas 2000.):

$$M_{ar} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} * 100 \quad (1)$$

Kaavassa:

M_{ar} on märkápainoa kohti laskettu kosteus saapumistilassa (%)

m_1 on näytteen massa grammoina ennen kuivausta (tuoremassa)

m_2 on näytteen massa grammoina kuivatuksen jälkeen (kuivamassa)

Kosteuden selvittäminen uunikuivausmenetelmällä on työlästä ja hidasta ja menetelmä vaatii laboratorio-olosuhteet. Uunikuivausmenetelmällä on omat heikkoutensa. Menetelmän avulla saatavat tulokset riippuvat käytettävästä standardista, sillä esimerkiksi kuivausaika ja kuivauksessa käytettävä lämpötila vaihtelevat eri standardien välillä (Kärkkäinen 2007). Tavallisesti käytetään vuorokauden kuivatusaika ja +105 °C lämpötilaa (± 2 °C). Lisäksi absoluuttisen kuivan puun massan määrittäminen on haastavaa, koska edes veden kiehumispistettä korkeampien lämpötilojen käyttäminen kuivauksessa ei takaa lopputuloksena absoluuttisen kuivaa kappaletta. Veden lisäksi puussa on myös muita haihtuvia komponentteja, joiden poistuminen puusta kuivauksen yhteydessä voi aiheuttaa virhettä kosteuden määrittämisessä. Tämä on todettu esimerkiksi Samuelssonin ym. (2006) tekemässä tutkimuksessa, jonka mukaan haihtuvien orgaanisten yhdisteiden haihtuminen uunikuivauksen aikana aiheuttaa mahdollisesti yliarvion kosteuden määrittämisessä. Samassa tutkimuksessa todettiin myös kuivauslämpötilalla olevan merkittävä vaikutus kosteustuloksiin, mikäli näytteitä kuivataan 80 °C:n tai 130 °C:n lämpötiloissa verrattuna yleisemmin käytössä olevaan 105 °C:n vertailulämpötilaan. Muita kaksivaiheisia kosteudenmäärittämenetelmiä ovat Kärkkäisen (2007) mukaan kuumakuivausmenetelmä, jossa käytetään uunikuivausta korkeampia lämpötiloja, uuttamismenetelmä sekä kuivaaminen normaalia alemmilla lämpötiloilla alipaineen avulla. Näiden menetelmien tarkkuus on normaalin uunikuivausmenetelmän tasolla, mutta myös kosteuden määrittämiseen liittyvät ongelmat ovat pääosin samat.

1.4 Tutkimusongelmat ja tutkimuksen tavoite

Tutkimuksen taustalla on elokuussa 2012 julkaistu Metsätehon tuloskalvosarja, mikä on tämän tutkimuksen tavoin osa Metsätehon hanketta P420 - Energiapuun kosteuden määrittäminen metsäkuljetuksen yhteydessä (Metsäteho 2012). Hankkeen tarkoituksena on tutkia energiapuun kosteuden määrittämistä metsäkuljetuksen yhteydessä uudella purunäytteisiin perustuvalla menetelmällä. Tutkittava kosteudenmäärittäminen perustuu metsätraktorin kouraan rakennettuihin sahalaippaan ja purusäiliöön sekä markkinoilla oleviin hakkeen ja purun kosteudenmittauslaitteisiin (Holopainen ym. 2012). Menetelmän täysipainoiseen hyödyntämiseen liittyvät myös alueelliset kuivumismallit, joita esimerkiksi Palander (2001) on kehittänyt tutkiessaan ainespuun kuivumisen vaikutuksia puunhankinnan logistiikkaan. Palanderin (2001) tutkimuksessa käytettiin alueellisia kuivumismalleja ja laadittiin päätöstuki-järjestelmä puuvirta-analyysijärjestelmän varten. Parhailaan menossa olevassa LAAVA-tutkimushankkeessa kehitetään kuivumismalleja energiapuulle (Puupolttoaineiden laadunhallinta... 2013). Tässä tutkimuksessa tarkasteltua energiarangan ja latvusmassan kosteuden määrittämismenetelmää voidaan mahdollisesti hyödyntää yhdessä LAAVA-hankkeen tulosten kanssa.

Metsätehon tuloskalvosarjassa (Holopainen ym. 2012) käsitellyn tutkimuksen tavoitteena oli tutkia kolmen markkinoilla olevan hakkeen ja sahanpurun kosteuden mittaamiseen soveltuvan kosteusmittarin tarkkuutta sekä testata metsätraktorin kuormainkouraan kiinnitettävän Sakari Monosen kehittämän näytteenottolaitteen prototyypin toimivuutta. Aineistona käytettiin rauhahaketta (N = 14), latvusmassahaketta (N = 33), sahojen toimittamaa purua (N = 15), latvusmassasta sahattuja purunäytteitä (N = 15) sekä karsitusta rangasta sahattuja purunäytteitä (N = 14). Tutkimuksessa testatut mittarit olivat Humimeter BLL, Humimeter BM2 sekä Wile BioWood. Kosteusmittareiden tarkkuutta tutkittiin ottamalla jokaisesta purunäytteestä 5 mitausta ja laskemalla tuloksista kullekin mittarille oma keskiarvotulos. Näin saatua tulosta verrattiin samojen näytteiden todelliseen kosteuteen, mikä määritettiin laboratoriossa uunikuivausmenetelmällä. (Holopainen ym. 2012).

Saatujen tulosten mukaan kosteusmittareiden tarkkuus todettiin hyväksi, sillä ero mittarin näyttämien ja uunikuivauksella saatujen tulosten välillä oli hakkeella 0,2 prosenttiyksikköä ja purulla 0,1 prosenttiyksikköä. Keskihajonnat olivat hakkeella 2,1 prosenttiyksikköä ja purulla 2,3 prosenttiyksikköä (Holopainen ym. 2012). Tulokset olivat erittäin tarkkoja ja antavat ai-

heen jatkotutkimukselle ja kosteuden mittausmenetelmän kehittämiseksi. Jatkotutkimuksissa pitää todentaa tulosten tilastollinen luotettavuus sekä tarkentaa luotettaviin kosteustuloksiin tarvittava purunäytteen tilavuus ja menetelmän käytännön toteuttamisen edellytykset.

Kosteus on energiapuun tärkeimpiä laatuominaisuuksia, olipa kyseessä sitten latvusmassa tai energiaranka. Mahdollisia kosteudenmittauspaikkoja ovat tienvarsivarastot, terminaalit ja energiapuun käyttöpaikat. Nykyisin käytössä olevassa energiapuun hankintaketjussa kosteus pystytään määrittämään vasta käyttöpaikassa, lämpö- tai voimalaitoksessa. Tämä tarkoittaa sitä, että energiapuuta tai haketta kuljetetaan autolla tietämättä sen kosteutta, jolloin saatetaan kuljettaa myös ylimääräistä vettä. Mikäli energiapuun kosteus voitaisiin määrittää jo korjuun aikana tai varastossa, toisi se mukanaan huomattavia etuja laadun hallintaan ja lisäksi myös energiapuun määrän mittaukseen.

Tässä tutkimuksessa ideana on kerätä metsätraktorin kuormaimeen kiinnitettävällä näytteenottolaitteella kosteusnäytteitä latvusmassasta ja energiarangasta metsäkuljetuksen yhteydessä. Näytteenottolaitteen säiliöön kertyneestä purusta mitataan kosteus leimikolla kannettavalla kosteusmittarilla. Tarkoituksena on, että tienvarteen kuljetetun latvusmassa- tai energiarankaerän kosteus saataisiin määritettyä jo varastoinnin alkuvaiheessa. Kun tiedetään energiapuun kosteus jo tienvarsivarastolla, saadaan aiempaa paremmat edellytykset puuraaka-aineen oikein ajoitetulle toimitukselle lämpö- tai voimalaitokseen polttoa varten. Lisäksi kustannusten kannalta olennainen logistiikkaketju voidaan optimoida aiempaa paremmin.

Energiapuun oikein ajoitettu toimitus käyttöpaikalle edellyttää energiapuuerän kosteuden kehittymisen ennustamista varastoinnin aikana. Tieto energiapuuerän kosteudesta varastoinnin alkuvaiheessa ei yksinään riitä, vaan kosteuden kehittymisen ennustamiseen tarvitaan alueellisia kuivumismalleja. Itä-Suomen yliopiston koordinoimassa LAAVA-hankkeessa kehitetään energiapuun varastoinnin kosteusmuutosten ennustemalleja energiapuun hankinnan tietojärjestelmiä varten (Puupolttoaineiden laadunhallinta... 2013). Päämääränä on, että jatkossa energiaraaka-aineen kosteuden kehittymistä tienvarsivarastoissa voidaan ennustaa energiapuulle laadittujen kuivumismallien avulla leimikko- ja energiapuutavaralajikohtaisesti. Energiapuun kosteuden ennustamista mallien avulla on tutkinut muun muassa Jahkonen ym. (2012).

Energiapuun alueelliset kuivumismallit ovat tällä hetkellä vielä kehitysvaiheessa, mutta näytteenottomenetelmä tuo hyötyä myös energiapuun määrän mittaamiseen. Näytteenottomenetelmän tuoma etu on, että se mahdollistaa energiapuun tuoretiheyden määrittämisen mittauseräkohtaisesti (Lindblad 2009). Kosteustiedon ja tuoretiheystaulukon avulla kuormainvaa'alla punnittu tuoremassa voidaan muuntaa kiintotilavuudeksi. Menetelmä helpottaisi näin myös metsätraktorin maksuperusteiden laskentaa. Nykyisin osalla urakoitsijoista on eri taksa vihreälle (tuoreelle) ja ruskealle (kuivuneelle) hakkuutähteelle, koska kuorman koko vaihtelee kuljetettavan latvusmassan kuivumisasteesta riippuen. Esimerkiksi Jari Lindblad Metsäntutkimuslaitokselta on kehittänyt kosteusmalleja ja muuntokertoimia, joiden avulla energiapuuerän tilavuutta voidaan mitata. Muuntokertoimet ovat käytössä esimerkiksi energiapuun mittausoppaassa (Lindblad ym. 2010).

Tässä tutkimuksessa tutkittavan kosteudenmääritysmenetelmän käyttöönotto ja sen etujen täysipainoinen hyödyntäminen vaatisi näytteenottolaitteen asentamisen metsätraktoreihin, metsätraktorin varustamisen kosteusmittarilla sekä paikalliset sääolot huomioivien kuivumismallien kehittämisen. Paras hyöty menetelmästä saadaan, mikäli metsätraktorit on varustettu kuormainvaa'alla. Tällä hetkellä Suomessa on noin 1600 metsätraktoria, joista kuormainvaaka on noin 700 koneessa.

Tämän pro gradu -tutkielman ensimmäisenä tavoitteena on selvittää tutkimuksessa tarkastellun Humiter BLL -kosteusmittarin mittaustarkkuus kenttäolosuhteissa sekä arvioida tutkittavan kosteuden mittausmenetelmän yleistettävyys. Tutkimuksen toisena tavoitteena on tehdä kustannusanalyysi menetelmän toimivuudesta käytännössä. Tutkimuksen kolmantena tavoitteena on laatia tulosten perusteella käytännön työohje menetelmän testikäytölle. Työohjeessa esitetään tarvittavien näytteiden määrä sekä se, miten näytteenotto tulee suorittaa, jotta mitattavasta erästä saadaan riittävän kattava näyte kosteudenmittausta varten ja mittaustarkkuus on riittävä. Lisäksi tutkimuksessa selvitetään Sakari Monosen kehittämän metsätraktorin kouraan kiinnitettävän näytteenottolaitteen ja Humimeter BLL -kosteusmittarin toimivuus kenttäolosuhteissa.

2 AINEISTO JA MENETELMÄT

2.1 Aineiston keruukohteet

Tutkimuksen aineisto kerättiin Metsäteho Oy:n yhteistyöyrityksen hankkimilta hakkuualueilta normaalin energiapuunkorjuun yhteydessä loka-marraskuussa 2012. Hakkuukohteet sijaitsivat Kiteen alueella Pohjois-Karjalassa. Kohteita oli yhteensä kuusi, joista neljä oli latvusmassakohteita ja kaksi oli energiarankakohteita. Latvusmassakohteet olivat päätehakkuualoja, joilla hakkuutähteet oli puitu kasoihin hakkuun yhteydessä. Energiarankakohteet olivat varttuneita taimikoita, joiden harvennuksen yhteydessä kerättiin energiarankaa. Kohteilta edellytettiin tulossa olevaa metsäkuljetusvaihetta, jonka yhteydessä näytteidenkeruu voitiin toteuttaa. Tämän tutkimuksen aineiston keruukohteiden valinnassa ei käytetty otantamenetelmää, jolla otantajoukko olisi valittu perusjoukosta. Leimikot valittiin suoraan puunhankintaorganisaation tietojärjestelmässä olleista sopivista leimikoista. Käytännössä leimikot valittiin aineiston keruun aikaan saatavilla olleista latvusmassa- ja energiarankakohteista, joille oli tulossa metsäkuljetus.

Aineisto koostuu energiapuun metsäkuljetuksen yhteydessä kerätyistä purunäytteistä, joista mitattiin kosteustulokset. Tavoitteena oli määrittää kosteus jokaiselle kuormalle erikseen. Latvusmassakohteilta ajettiin yhteensä 73 kuormaa, joista jokaisesta kerättiin kosteusnäytteet. Energiarankakohteilta ajettiin 38 kuormaa ja kerättiin yhtä monta kosteusnäytettä. Kuormia ajettiin yhteensä 111 kappaletta ja tutkimuksen aineisto koostuu 111 kosteusnäytteestä. Aikaväli hakkuun päättymisen ja aineiston keruupäivän välillä vaihteli latvusmassakohteilla näytteiden keruuta edeltäneestä päivästä 72 vuorokauden eli noin kymmeneen viikkoon. Energiarankakohteilla aineiston keruu toteutettiin 1–3 vuorokauden kuluttua hakkuun päättymisestä. Tutkimuksen aineiston muodostavat kosteusnäytteet on kerätty tuoreilta hakkuualoilta, niin sanotusta vihreästä materiaalista.

Kuormakohtaisten kosteusnäytteiden lisäksi jokaisen aineiston keruupäivän aikana kerääntyneistä puruista otettiin lopuksi kokoomanäytteet, joiden avulla tutkittiin purun määrän vaikutusta kosteustuloksiin. Kokoomanäytteitä kerättiin yhteensä 11 kappaletta. Kosteusmittauksia varten kerättyjen purunäytteiden lisäksi kerättiin tietoa myös näytteenottomenetelmän ajankäytöstä kellottamalla sahaus- ja mittausaikoja.

Kaikki kohteet sijaitsivat kivennäismaalla. Kohteiden topografiaa ei tarkasteltu tarkemmin, koska aineistonkeruussa ei otettu huomioon kasojen sijaintia hakkuualueilla. Puunhankintayritykseltä saatiin aineiston keruukohteiden taustatietoina kohteiden hakkuuajat, kokonaispinta-alat sekä ainespuukertymät, joiden perusteella kohteille oli laskettu laskennalliset latvusmassa- ja energiarankakertymät. Lisäksi aineiston keruun yhteydessä havainnoitiin jokaisen näytteenkeruupäivän sää ja kirjattiin ylös lämpötila. Aineiston keruukohteiden tiedot esitetään liitteissä 1 ja 2.

2.1.1 Latvusmassakohteet

Latvusmassakohteita oli neljä ja niiden pinta-alat vaihtelivat välillä 0,3–2,7 hehtaaria. Kolmella kohteella hakkuut olivat päättyneet heinä-elokuun vaihteessa 2012 ja yhdellä kohteella lokakuun alussa 2012. Latvusmassakertymät vaihtelivat välillä 22,2–305,1 kiintokuutiometriä. Kohteiden yhteispinta-ala oli 6,1 hehtaaria ja kertymä yhteensä 483,4 kiintokuutiometriä. Kohteilla oksat ja latvukset oli puitu kasoihin päätehakkuun yhteydessä, mistä ne kerättiin näytteenottolaitteella varustetulla metsätraktorilla ja kuljetettiin tienvarsivarastolle. Suurin kohde oli puhdas kuusikko ja muut kolme kohdetta olivat sekapuustoisia. Muiden kohteiden latvusmassa koostui rauduskoivun, kuusen ja männyn hakkuutähteistä. Tarkkaa puulajisuhteiden määrittystä latvusmassasta ei aineiston keruun yhteydessä tehty.

2.1.2 Energiarankakohteet

Rankakohteita oli kaksi ja niiden pinta-alat olivat 0,7 hehtaaria ja 4,5 hehtaaria eli yhteensä 5,2 hehtaaria. Hakkuut kohteilla päättyivät lokakuun lopussa 2012. Energiarankakertymät olivat 53,3 kiintokuutiometriä ja 313,6 kiintokuutiometriä eli yhteensä 366,9 kiintokuutiometriä. Pienempi kohde koostui kuusen taimikosta, jonka ylispuustona kasvanut selkeästi vanhempi harmaalepikko hakattiin energiarangaksi. Suurempi kohde koostui taimikosta, jossa kuusikon päällä kasvavaa rauduskoivikkoa harvennettiin.

2.2 Kourasovitteen näytteenottolaite energiapuun kosteuden määrittämiseen

Tutkimuksessa käytetyn näytteenottolaitteen, jonka avulla purunäytteet kerättiin, on kehittänyt ja rakentanut Sakari Mononen Tekno-Tuote S. Monoselta. Laite on tavallinen Hultdins SuperGrip -mallinen kuormainkoura, johon on liitetty ketjusahalaippa ja säiliö purun keruuta

varten (kuvat 3 ja 4). Laitteen toimintaperiaate on, että kouranipusta sahataan purunäyte, joka kulkeutuu terän vetämänä kourua pitkin purusäiliöön (kuva 5). Kosteusnäyte mitataan purusäiliöön kertyneestä purusta. Sahan ohjaus toimii langattomalla radio-ohjauksella, jota koneen kuljettaja käyttää ohjaamosta. Sahausliikkeen suuruutta voidaan säätää. Näytteenottokoura voidaan vaihtaa koneesta toiseen irrottamalla rotaattori kuormaimesta. Latvusmassakohteilla näytteenottolaite oli kiinnitettyä Ponsse Wisent -metsätraktoriin, jossa oli K70+ -mallinen kuormain. Energiarankakohteilla metsätraktorina oli John Deere 1210E -metsätraktori. Latvusmassan metsäkuljetusta varten kouran leuoista irrotettiin metallipalat, jotta siitä saatiin paremmin hakkuutähteen kasaamiseen soveltuva kaksipiikkinen niin sanottu risukoura. Energiarangan kuljetusta varten metallipalat hitsattiin takaisin kiinni kouraan.



Kuva 3. Tutkimuksessa käytetty näytteenottolaite (Kuva: Lasse Tuunanen)



Kuva 4. Tutkimuksessa käytetty näytteenottolaite (Kuva: Lasse Tuunanen)



Kuva 5. Tutkimuksessa käytetyn näytteenottolaitteen purusäiliö (Kuva: Lasse Tuunanen)

2.3 Humimeter BLL -kosteusmittari

Maastossa mitatut kosteustulokset mitattiin Messtechnik Schaller GmbH:n valmistamalla Humimeter BLL -kosteusmittarilla (kuva 6). Mittarin toiminta perustuu näytteen sähkövastuksen eli resistanssin mittaamiseen. Mittari koostuu valaistun nestekidenäytön, käyttöpainikkeet ja paristot sisältävästä yksiköstä sekä yhden metrin pituisen metallisen varren päässä olevista mittausantureista. Laite on suunniteltu soveltumaan kosteuden mittaamiseen hakekasois-

ta, joten kosteusmittausanturit sijaitsevat metrin pituisen varren päässä. Varsi on tarpeettoman pitkä ajatellen tässä tutkimuksessa tarkastellun kosteudenmääritysmenetelmän vaatimuksia, mutta varren pituus helpottaa kosteuden mittaamista esimerkiksi hakekasoista. Mittari on nopeakäyttöinen ja se mittaa kosteuden lisäksi näytteen lämpötilaa. Mittari huomioi näytteen lämpötilan kosteuden määrittämisessä. Mittari näyttää hakkeen ja purun kosteuden 0,5 prosentin tarkkuudella. Valmistajan ilmoittama kosteuspitoisuusalue, jonka mittaamiseen mittari soveltuu, on 10–50 prosenttia. Lämpötila, jossa kosteudenmittaus voidaan suorittaa, on 0 – +40 °C. Mittarissa on kolme eri palakokoisille näytteille suunniteltua kalibrointikäyrää, joiden mukaan kosteustulokset määritetään. Kalibrointikäyrät ovat Puuhake (Wood chips), Karkea puuhake (Coarse chips) ja Teollisuuspuuhake (Industrial chips). Tässä tutkimuksessa mittaukset suoritettiin käyttäen pienimmälle palakoolle tarkoitettua Puuhake-kalibrointikäyrää. (Schaller GmbH 2010, Humimeter 2013.)



Kuva 6. Humimeter BLL -kosteusmittari. (Kuva: Humimeter 2013.)

2.4 Aineiston keruumenetelmä

2.4.1 Näytteiden kerääminen

Tutkimuksen aineisto koostuu tavanomaisen metsäkuljetuksen yhteydessä latvusmassasta ja energiarangasta kerätyistä kosteusnäytteistä. Yksi kosteusnäyte muodostuu näytteenottolaitteella yhden metsätraktorikuorman kasauksen yhteydessä sahatuista puruista. Sahauksia tehtiin jokaisesta kourataakasta. Tavoitteena oli sahata kourataakka poikki korkeintaan taakan puoliväliin saakka, jotta välttyttiin turhalta katkomiselta ja energiapuun jatkokuljetus ei vaikeutuisi liikaa. Jokaisesta kosteusnäytteestä mitattiin kosteustulos Humimeter BLL -kosteusmittarilla näytteenottolaitteen säiliössä ja muovikämpärissä. Kosteusmittaukset tehtiin maastossa metsäkuljetuksen yhteydessä ja näytteiden todelliset kosteudet selvitettiin laboratoriossa uunikuivausmenetelmällä. Aineiston keruun toteutus pyrittiin suunnittelemaan ja toteuttamaan niin, että se aiheutti mahdollisimman vähän muutoksia metsäkuljetukseen. Tarkoituksena oli tutkia näytteenottolaitteen sekä Humimeter BLL -kosteusmittarin toimivuutta käy-

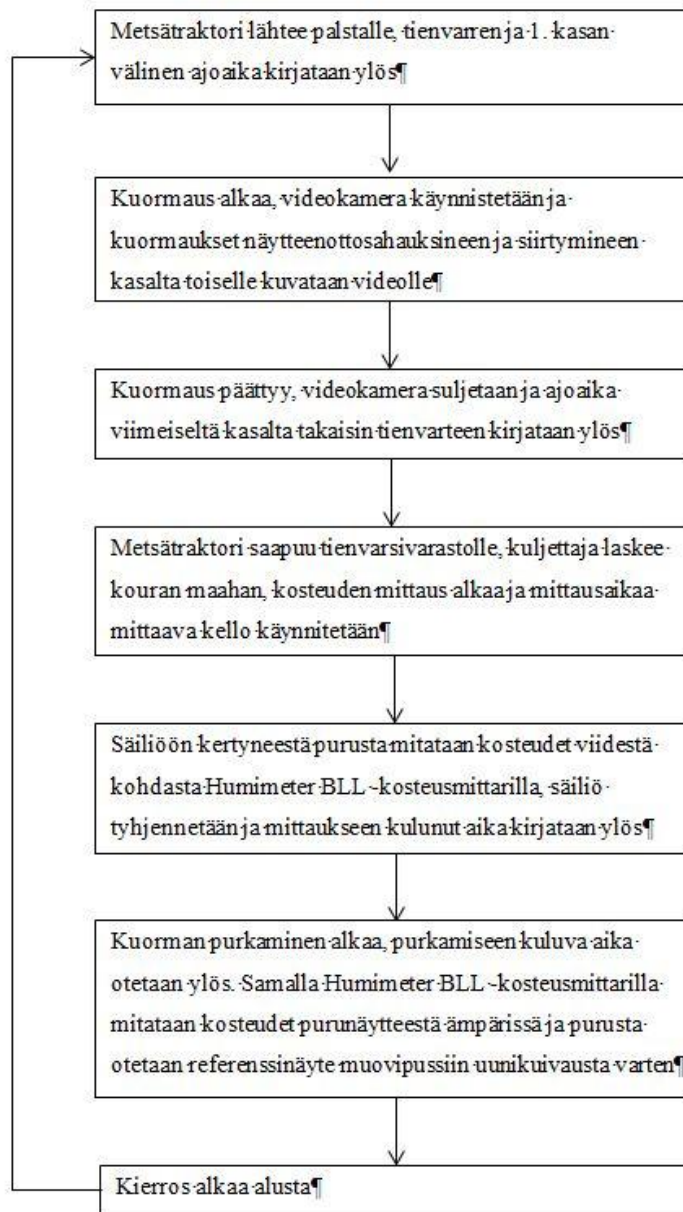
tännön metsäkuljetuksen yhteydessä. Kosteusnäytteiden keruun ohella tutkittiin myös näytteenottomenetelmän vaikutusta metsäkuljetuksen ajanmenekkiin ja kustannuksiin.

Alkuperäisen suunnitelman mukaan näytteenottosahaukset oli tarkoitus suorittaa kuorman purkamisen yhteydessä sekä latvusmassa- että energiarankakohteilla. Käytännön työssä huomattiin pian, että latvusmassakohteilla parempi vaihtoehto oli suorittaa näytteenottosahaus kuorman kasaamisen yhteydessä. Kuormausvaiheessa suoritettuna sahauksen etuna oli se, että kuljettaja pystyi paremmin havainnoimaan millaisen otteen hän taakasta sai, kun taakka on maassa. Näytteenoton ja purun kertymisen kannalta on suotuisaa, että taakassa olevat oksat ja latvukset ovat kohtisuorassa kouraan rakennettuun sahalaippaan nähden. Mikäli näytteenotto suoritetaan kuorman purkamisen yhteydessä, ei kuljettajalla ole mahdollisuutta nähdä millaisen otteen hän taakasta saa etenkin kuorman purun alkuvaiheessa. Energiarangan osalta näytteenotto on luontevinta tehdä kuorman purkamisen yhteydessä.

Aineiston keruu toteutettiin vaihe vaiheelta kuvattuna seuraavasti (kuva 7). Metsätraktorin lähtiessä tienvarresta hakemaan kuormaa tienvarren ja ensimmäisen kasan välinen ajoaika kirjattiin ylös. Kuormauksen alkaessa videokamera käynnistettiin ja kuormaukset siirtymiseen kuvattiin videolle. Kuormauksen päätyttyä ajoaika viimeiseltä kasalta takaisin tienvarreen kirjattiin ylös. Metsätraktorin saavuttua tienvarsivarastolle ja pysähtyttyä kuorman purkupaikalle kuljettaja laski kouran maahan kosteusmittausta ja näytteenottoa varten. Kuormauksen yhteydessä tehtyjen sahausten myötä näytteenottolaitteen säiliöön kertyneestä purusta mitattiin kosteus viidestä kohdasta Humimeter BLL -kosteusmittarilla ja tulokset kirjattiin ylös. Työvaiheena kosteuden mittaus sisälsi näytteenottolaitteen purusäiliön luukun avaamisen, viiden kosteustuloksen mittaamisen Humimeter BLL -mittarilla, tulosten kirjaamisen, säiliön tyhjentämisen sekä luukun sulkemisen. Mittausten jälkeen säiliö tyhjennettiin muovämpäriin ja kuljettaja aloitti kuorman purkamisen. Kuorman purkuun kulunut aika otettiin ylös.

Kuorman purkamiseen kulunut aika hyödynnettiin näytteiden käsittelyssä. Näytteenottolaitteen säiliöstä kerätty purunäyte sekoitettiin käsin ja siitä mitattiin viisi kosteustulosta muovämpäriin Humimeter BLL -kosteusmittarilla. Samalla kirjattiin ylös näytteen tilavuus litran tarkkuudella. Mittausten jälkeen puruista otettiin noin yhden litran kokoinen näyte talteen laboratoriossa tehtäviä referenssimittauksia varten. Referenssinäytteet säilöttiin pakaste muovipusseihin ja pussien suut suljettiin solmimalla välittömästi kosteuden haihtumisen es-

tämiseksi. Näytepusseit numeroitiin juoksevasti kohteen numerolla ja kuorman numerolla. Näiden toimenpiteiden jälkeen kierros alkoi jälleen alusta ja seuraavana vaiheena käynnistettiin kello mittamaan tienvarren ja ensimmäisen kasan välistä ajoaikaa. Jokaisen aineiston keruupäivän päätteeksi näytepusseit toimitettiin Itä-Suomen yliopiston pakkasvarastoon odottamaan jatkokäsittelyä.



Kuva 7. Aineiston keruumenetelmän työvaihesykli latvusmassanäytteiden keruussa

Referenssinäytteen ottamisen jälkeen ylimääräiseksi jääneet purut koottiin 65 litran tilavuiseen muovisaaviin, jonka päällä pidettiin jätesäkkiä kuivumisen hidastamiseksi. Puruja ei tiivistetty missään vaiheessa, vaan niiden annettiin olla vapaassa irtotilavuudessaan. Kun kaikki

päivän kuormat oli ajettu, saaviin kerätyt purut sekoitettiin kerroksellisuuden poistamiseksi ja saavista otettiin toiseen muovisaaviin 20 litran kokoinen kokoomanäyte. 20 litran kokoomanäytteestä mitattiin kosteus viidestä satunnaisesta kohdasta Humimeter BLL -kosteusmittarilla. Tämän jälkeen kokoomanäytteestä mitattiin kosteudet viidestä eri kohdasta myös tilavuuksilla 16 litraa, 8 litraa, 4 litraa ja 2 litraa. Purut sekoitettiin joka kerta, kun mitattavan näytteen tilavuutta pienennettiin. Lopuksi kokoomanäytteestä otettiin referenssinäyte uunikuivausta varten, mikä säilöttiin pakastemuovipussiin muiden kosteusnäytteiden tavoin. Tällä menettelyllä tutkittiin näytekoon vaikutusta Humimeter BLL -kosteusmittarin tarkkuuteen.

Kuormien kasaamisen yhteydessä taltioiduilta videoilta kirjattiin ylös seuraavat tiedot: kuormattujen kasojen lukumäärä, kuormattujen taakkojen lukumäärä, sahausten lukumäärä, sahausiin kulunut aika ja koko kasauksen kesto. Edellä mainittujen lisäksi videoilta kirjattiin ylös näytteenottolaitteen tukkeutumien tarkastusten lukumäärä, tukkeutumien lukumäärä ja tukosten purkuun kulunut aika.

2.4.2 Näytteiden käsittely ja kuivaus

Maastomittausten yhteydessä kerättyjen purunäytteiden todellinen kosteus selvitettiin Itä-Suomen yliopiston laboratoriossa käyttäen SFS-EN 14774-2 -standardin mukaista uunikuivausmenetelmää (Suomen standardisoimisliitto 2010). Menetelmä on tarkoitettu kiinteiden biopoltoaineiden kosteuspitoisuuden määrittämiseen, ja sillä saadaan selville näytteiden kokonaiskosteus. Kosteuden määrittäminen uunikuivausmenetelmällä perustuu kuivattavien näytteiden massassa kuivauksen myötä tapahtuvan muutoksen mittaamiseen.

Aineiston keruupäivien päätteeksi purunäytepusseja oli säilötty pakkasvarastoon -21 °C:een odottamaan jatkokäsittelyä. Jäisiä purunäytteitä sulatettiin 24 tuntia ennen punnitusten ja uunikuivauksen aloittamista. Sulattaminen tapahtui huoneenlämmössä ja pusseja pidettiin suljetuina koko sulamisvaiheen ajan kosteuden haihtumisen estämiseksi. Vuorokauden sulamisai-ka todettiin riittäväksi, koska pakastamisesta johtunut näytepusseiden sisäpinnalle tiivistynyt kosteus ehti imeytyä takaisin puruihin vuorokauden aikana.

Näytteiden sulattamisen jälkeen aloitettiin punnitukset. Kaikki punnitustulokset kirjattiin ylös sadasosagramman tarkkuudella. Ensimmäisenä punnittiin uunikuivauksessa käytettyjen alu-

miinifoliovuokien massat tyhjänä. Punnituksen yhteydessä vuoat numeroitiin vastaamaan purunäytepussien numerointia. Seuraavaksi purut kaadettiin vuokiin yksi näyte kerrallaan ja vuoat puruineen punnittiin tuorepainon selvittämiseksi. Näytteet kuivattiin 0,5 litran alumiinivuossa, joissa saavutettiin käytetyn teknisen standardin mukainen tavoite näytekeroksen paksuudelle: yksi gramma näytettä kuivausalustan pohjan neliösenttimetriä kohti. Näytteitä käsiteltäessä ainoastaan yksi näytepussi oli kerrallaan avattuna kosteuden haihtumisen estämiseksi. Tuorepainon mittaamisen yhteydessä näytteet luokiteltiin kolmeen luokkaan koostumuksen perusteella. Luokat olivat: 1: 'puhdasta purua', 2: 'purua, neulasia ja oksia' sekä 3: 'purua, paljon neulasia ja oksia'. Näytteitä ei seulottu, vaan ne käsiteltiin alkuperäisessä koostumuksessaan. Tämän jälkeen vuoat nostettiin lämpökaappiin, jossa niitä kuivattiin 24 tuntia +105 °C:n vakioämpötilassa. Uunikuivauksissa käytettiin MMM Medcenter Einrichtung GmbH:n valmistamaa Ecocell 404 -lämpökaappia. Vuorokauden kestäneen kuivaamisen jälkeen purujen kuivapaino selvitettiin ottamalla näytteet yksi kerrallaan pois lämpökaapista punnittavaksi. Näytteet punnittiin kuumina, välittömästi lämpökaapista poistamisen jälkeen, jotta huoneilmassa olevan kosteuden imeytyminen näytteisiin ei ehtinyt vaikuttaa punnitustuloksiin.

2.5 Tulosten laskenta ja analysointi

2.5.1 Kosteusaineisto

Tutkimuksessa analysoitiin uunikuivaustulosten ja kosteusmittarilla saatujen mittaustulosten välistä riippuvuutta. Tulosten laskennassa käytettiin SPSS-tilasto-ohjelmistoa. Laskennassa käytettyjä muuttujia olivat näytteenottolaitteen säiliössä ja muovikämpärissä Humimeter BLL -kosteusmittarilla mitatut kosteustulokset sekä nämä kosteustulosaineistot yhdistämällä luotu säiliössä ja kämpärissä mitattujen kosteustulosten keskiarvoista muodostuva muuttuja. Lisäksi muuttujina käytettiin uunikuivausmenetelmällä laboratoriossa selvitettyjä näytteiden todellisia kosteusarvoja, energiapuun kuivumisaikaa hakkuun päättymisen ja näytteenoton välillä, näytteiden keruukohdetta, näytteiden koostumusta sekä näytteiden tilavuutta.

Uunikuivausmenetelmällä referenssinäytteistä selvitettyt näytteiden todelliset kosteudet laskettiin käyttäen kaavaa 2.

$$M_{ar} = \frac{(m_2 - m_1) - (m_3 - m_1)}{(m_2 - m_1)} * 100 \quad (2)$$

Kaavassa:

M_{ar} on kosteus saapumistilassa (%)

m_1 on tyhjän astian massa grammoina

m_2 on astian ja näytteen massa grammoina ennen kuivatusta (tuoremassa)

m_3 on astian ja näytteen massa grammoina kuivatuksen jälkeen (kuivamassa)

Referenssinäytteiden kosteus ohjeistetaan määrittämään yllä olevan kaavan avulla myös Humimeter BLL -kosteusmittarin käyttöohjeessa (Schaller GmbH 2010).

Kosteusmittaustulosten tunnusluvut koottiin taulukoihin, joissa esitetään mittaustulosten tunnusluvut eriteltyinä koko kosteuden mittaussaineiston, latvusmassakohteilta kerätyn aineiston sekä energiarankakohteilta kerätyn aineiston mukaan. Näytteiden lukumäärät, joista tunnusluvut on laskettu, ovat koko kosteuden mittaussaineistossa 11 lukuun ottamatta näytteenottolaitteen säiliössä mittarilla mitattuja kosteustuloksia. Näytteiden lukumäärä säiliössä mittarilla mitatuilla kosteustuloksilla on 100, koska 11 näytettä ei voitu mitata säiliössä pienen näytteen takia. Mittauksia ei voitu suorittaa, koska kosteusmittarin anturit olisivat olleet kosketuksessa metallisen säiliön kanssa ohuen purukerroksen takia. Sen sijaan ämpäriin pohjalla purut riittivät peittämään mittarin anturit ja mittaus oli mahdollinen. Kaikki mainitut 11 näytettä kuuluvat latvusmassakohteilta mitattuun aineistoon. Latvusmassakohteilta kerätyssä aineistossa näytteiden lukumäärä on 73 lukuun ottamatta säiliössä mitattuja tuloksia, joissa näytteiden lukumääränä on 62 edellä mainitusta syystä johtuen. Energiarankakohteilta mitatuissa tuloksissa näytteiden lukumäärä on 38. Taulukoiden lisäksi kaikki muutkin kosteusaineiston avulla tehdyt tarkastelut on tehty edellä mainittuihin näytteiden lukumääriin perustuen.

Kosteusmittaustulosten jakautuminen eri kosteustasoille selvitettiin ja tulokset esitetään sektoridiagrammeissa. Ensimmäinen diagrammi kuvaa uunikuivausmenetelmällä määritettyjen kosteustulosten jakautumista. Uunikuivausmenetelmällä saadut kosteustulokset jaettiin neljään eri luokkaan: 1: 0,00 % – 39,99 %, 2: 40,00 % – 49,99 %, 3: 50,00 % – 59,99 % ja 4: 60,00 % – 100,00 %. Kaksi muuta diagrammia kuvaavat näytteenottolaitteen säiliössä ja muovämpäriin mittarilla mitattujen kosteustulosten jakautumista eri kosteustasoille. Säiliös-

sä ja ämpärissä mitatut kosteustulokset jaettiin kolmeen eri luokkaan: 1: 20,00 % – 29,99 %, 2: 30,00 % – 39,99 % ja 3: 40,00 % – 100,00 %.

Humimeter BLL -kosteusmittarilla näytteenottolaitteen säiliössä ja ämpärissä mitattuja kosteustuloksia havainnollistetaan kolmella erilaisella kuvalla. Ensimmäisessä kuvassa esitetään kosteustuloksista piirretyt käyrät näytteittäin. Toisessa ja kolmannessa kuvassa puolestaan esitetään kosteustulosten sijoittuminen koordinaatistoon, jonka akseleina ovat eri paikoissa määritetyt kosteustulokset. Vastaavilla kuvilla havainnollistetaan myös mittarilla säiliössä ja ämpärissä mitattujen kosteustulosten keskiarvoista laskettuja, mittarin keskimääräisiä kosteustuloksia sekä uunikuivausmenetelmällä määritettyjä kosteustuloksia. Kosteustulosten välistä tilastollista yhteyttä tutkittiin myös Pearsonin korrelaatiokertoimien avulla. Pearsonin korrelaatiokertoimien käytön edellytyksenä oleva muuttujien normaalijakautuneisuus testattiin käyttäen Kolmogorov-Smirnovin testiä. Testin tuloksena todettiin, että näytteenottolaitteen säiliössä ja ämpärissä mitatut kosteudet, säiliössä ja ämpärissä mitattujen kosteustulosten keskiarvoista lasketut mittarin keskimääräiset kosteustulokset sekä uunikuivausmenetelmällä määritetyt kosteustulokset ovat normaalijakautuneita. Korrelaatioanalyysin tulokset ovat yleistettävissä vain tämän tutkimuksen keruukohteiden kanssa samanlaisilta kohteilta kerättyihin aineistoihin. Pearsonin korrelaatiokertoimia tulkitaan seuraavasti: mitä lähempänä Pearsonin korrelaatiokerroin on arvoa 1 tai -1, sitä suurempi korrelaatio vertailuparin välillä on. Kun p -arvo on pienempi kuin 0,05, muuttujien välinen korrelaatio on tilastollisesti merkitsevä.

Tilastollisissa testeissä kosteusmittarilla mitattuja kosteustuloksia kuvaavana muuttujana on näytteenottolaitteen säiliössä ja muoviämpärissä mitattujen kosteustulosten keskiarvot. Luokittelevina muuttujina ovat purunäytteiden koostumus sekä energiapuun (latvusmassan ja energiarangan) kuivumisaika hakkuun päättymisen ja näytteenoton välillä. Lisäksi luokittelevana muuttujana käytettiin purunäytteiden tilavuutta. Näytteet luokiteltiin kolmeen luokkaan koostumuksen perusteella. Koostumusluokat olivat: 1: 'puhdasta purua', 2: 'purua, neulasia ja oksia' sekä 3: 'purua, paljon neulasia ja oksia'. Kuivumisaikaluokkina käytettiin todellista kulunutta aikaa vuorokausina hakkuun päättymisen ja näytteiden keruun välillä. Kuivumisaikaluokkia oli neljä: 1: 1 vuorokausi, 3: 3 vuorokautta, 61: 61 vuorokautta ja 72: 72 vuorokautta. Purunäytteiden tilavuudet jaettiin viiteen luokkaan, jotka olivat 1: 0,0 – 3,0 litraa, 2: 3,1 – 6,0 litraa, 3: 6,1 – 9,0 litraa, 4: 9,1 – 12,0 litraa sekä 5: > 12,1 litraa. Tilastolliset tes-

taukset tehtiin käyttäen koko kosteusmittausaineistoa eli testeissä ovat mukana sekä latvusmassakohteilta että energiarankakohteilta kerätyt kosteusmittaustulokset.

Varianssianalyysin edellytykset eivät täytyneet, koska ryhmien väliset varianssit eivät olleet yhtä suuria. Näin ollen aineiston testaamiseen päädyttiin käyttämään parametrittomista testeistä Mann-Whitneyn U-testiä, jota voidaan käyttää silloin, kun varianssianalyysin edellytykset, kuten oletus yhtäsuurista variansseista ja normaalijakautuneisuudesta, eivät täyty. Mann-Whitneyn U-testi on riippumattomien otosten t-testiä vastaava ei-parametrinen testi. Tämä testi vertailee tutkittavana olevien muuttujien luokkien mediaaneja toisiinsa. Testi toimii periaatteessa samalla tavalla kuin tavallinen t-testi, mutta ei edellytä normaalijakautuneisuutta. Mann-Whitneyn U-testillä voi vertailla kahta ryhmää kerralla. (Nummenmaa 2004.)

Testeissä käytetyt hypoteesit ovat:

H_0 : Ryhmien mediaanit ovat samat

H_1 : Ryhmien mediaanit poikkeavat toisistaan

Käytettäessä 5 prosentin merkitsevyystasoa p -arvon ollessa suurempi kuin 0,05 nollahypoteesi jää voimaan. Kun p -arvo on pienempi kuin 0,05, muuttujien välillä on tilastollisesti merkitsevä ero ja vaihtoehtoinen hypoteesi H_1 tulee voimaan.

Purunäytteiden koostumuksen vaikutusta kosteustuloksiin tarkasteltiin Mann-Whitneyn U-testillä. Näytteiden koostumuksen vaikutusta tarkasteltiin mittarilla mitattuihin ja uuni-kuivausmenetelmällä määritettyihin kosteustuloksiin nähden. Koska näytteiden koostumus luokiteltiin kolmeen luokkaan ja Mann-Whitneyn U-testillä voidaan vertailla vain kahta ryhmää kerralla, testi tehtiin kolmessa vaiheessa. Testissä näytteiden koostumusparit olivat 'puhdasta purua' – 'purua, neulasia ja oksia', 'puhdasta purua' – 'purua, paljon neulasia ja oksia' ja 'purua, neulasia ja oksia' – 'purua, paljon neulasia ja oksia'. Tällä menettelyllä saatiin tietää, oliko näytteiden koostumuksella vaikutusta mittarilla mitattuihin kosteustuloksiin. Lisäksi mikäli tilastollista merkitsevyyttä oli havaittavissa, saatiin tietää minkä koostumusluokkien välillä tilastollisia eroja kosteustuloksissa oli havaittavissa.

Latvusmassan ja energiarangan kuivumisajan vaikutusta kosteustuloksiin tarkasteltiin Mann-Whitneyn U-testillä. Kuivumisajan vaikutusta tarkasteltiin mittarilla mitattuihin ja uuni-kuivausmenetelmällä määritettyihin kosteustuloksiin nähden. Johtuen siitä, että kuivumisajat

luokiteltiin neljään luokkaan ja Mann-Whitneyn U-testillä voidaan vertailla vain kahta ryhmää kerralla, testi tehtiin kuudessa vaiheessa. Testin kuivumisaikaparit olivat kuivumisvuorokausien mukaan ilmaistuna 1 – 3, 1 – 61, 1 – 72, 3 – 61, 3 – 72 ja 61 – 72. Tällä menettelyllä saatiin selvitettyä, mikäli kuivumisajalla oli vaikutusta mittarilla mitattuihin kosteustuloksiin. Lisäksi, jos tilastollista merkitsevyyttä ilmeni, saatiin tietää minkä kuivumisaikaluokkien välillä tilastollisia eroja kosteustuloksissa oli havaittavissa.

Myös purunäytteiden tilavuuden vaikutusta kosteustuloksiin tarkasteltiin Mann-Whitneyn U-testillä, koska tilavuudet eivät olleet normaalijakautuneita. Tilavuudet luokiteltiin viiteen luokkaan, jotta voitiin tarkastella, minkä tilavuuksien välillä eroja kosteustuloksissa oli havaittavissa. Näytteen tilavuuden vaikutusta tarkasteltiin mittarilla mitattuihin ja uunikuivausmenetelmällä määritettyihin kosteustuloksiin nähden. Näytteiden tilavuuksien suuresta hajonnasta johtuen tilavuudet luokiteltiin viiteen luokkaan ja testaus tehtiin kymmenessä vaiheessa. Testissä näytteiden tilavuusluokkaparit olivat 0,0 – 3,0 litraa, 3,1 – 6,0 litraa, 6,1 – 9,0 litraa, 9,1 – 12,0 litraa sekä > 12,1 litraa. Tilavuudeltaan yli 12 litraisten näytteiden pienestä määrästä johtuen viimeiseen luokkaan otettiin mukaan kaikki yli 12 litraiset näytteet. Menettelyllä pyrittiin selvittämään, oliko näytteen tilavuudella vaikutusta mittarilla mitattuihin kosteustuloksiin. Samalla saatiin selvitettyä, minkä tilavuusluokkien välillä oli tilastollisesti merkitsevää eroa kosteustuloksissa.

Aineiston keruupäivien päätteeksi kaikki päivän aikana kertyneet purut sekoitettiin ja niistä mitattiin kosteudet käyttäen näytekokona eri tilavuuksia. Kokoomanäytteistä mitattiin kosteudet viidellä toistomittauksella käyttäen tilavuuksina 20, 16, 8, 4 ja 2 litraa. Tulokset koottiin taulukkoon, jossa esitetään jokaisesta yhdestätoista kokoomanäytteestä Humimeter BLL -mittarilla mitatut kosteustulokset. Jokainen taulukossa oleva tulos on viiden toistomittauksen keskiarvo. Taulukosta ilmenee myös jokaisen kokoomanäytteen referenssinäytteestä uunikuivausmenetelmällä määritetty todellinen kosteus sekä kosteustulosten keskihajonnat.

Myös purun kertymistä näytteenottolaitteen säiliöön tarkasteltiin. Tulokset koottiin taulukkoon, jossa ne esitetään eriteltyinä latvusmassakohteiden ja energiarankakohteiden purun kertymän mukaan. Purun kertymisen ohella tarkasteltiin näytemäärän riippuvuutta tavoitellusta mittaustarkkuudesta, eli tässä tapauksessa kosteuden keskiarvon keskivirheestä. Riippuvuutta havainnollistettiin piirtämällä kosteuksien keskihajontaa kuvaavat esimerkkikäyrät, joissa keskihajonta on 1, 2, 3, 4 ja 5 prosenttiyksikköä. Kuvassa havainnollistetaan keskihajonta-

käyrien avulla halutun mittaustarkkuuden saavuttamisen edellyttämää näytemäärää. Kosteusmittaustulosten keskiarvon keskivirheet laskettiin kaavan 3 avulla. Laskennassa ei käytetty tämän tutkimuksen kosteusaineiston keskihajontoja, vaan kosteuksien keskiarvon keskivirheet laskettiin kaavan 3 avulla käyttäen keskihajontoina esimerkin omaisesti 1, 2, 3, 4 ja 5 prosenttiyksikön keskihajontoja.

$$S = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (3)$$

Kaavassa:

S on keskiarvon keskivirhe

s on keskihajonta

n on otoksen koko (näytteiden lukumäärä)

Keskivirheen kaavasta (3) voidaan johtaa tavoitellun tarkkuuden, eli tässä tapauksessa kosteuden mittaustulosten keskivirheen, saavuttamiseen tarvittava näytemäärä ratkaisemalla n, mikäli tiedetään keskihajonta sekä tarkkuus (keskivirhe). Tarvittava näytemäärä voidaan laskea kaavalla 4.

$$n = \left(\frac{S}{s}\right)^2 \quad (4)$$

Kaavassa:

n on näytteiden lukumäärä

s on keskihajonta

S on keskiarvon keskivirhe

2.5.2 Aikatutkimusaineisto ja kustannusanalyysi

Näytteenottomenetelmän ajanmenekkiä ja siitä aiheutuvia kustannuksia tutkittiin kosteusnäyteaineiston keruun yhteydessä kerätyllä aikatutkimusaineistolla. Latvusmassan metsäkuljetuksen yhteydessä ajettiin 73 kuormaa, joista 70 kuormasta saatiin ylös riittävän kattavat aikatiedot. Metsäkuljetuksen ajanmenekkiä käsittelevät laskelmat perustuvat 70 latvusmassan metsäkuljetuskuorman ajon yhteydessä kerättyyn aikatutkimusaineistoon. Yksi latvusmassan metsäkuljetuskuorma koostui keskimäärin 12 latvusmassakasasta.

Näytteenottomenetelmän käyttäminen metsäkuljetuksen yhteydessä tuo mukanaan kolme uutta työvaihetta metsäkuljetukseen. Sahausaika on aika, joka kuuluu purunäytteiden sahaamiseen. Kosteuden mittaus sisältää näytteenottolaitteen purusäiliön luukun avaamisen, viiden kosteustuloksen mittaamisen Humimeter BLL -mittarilla, tulosten kirjaamisen, säiliön tyhjentämisen sekä luukun sulkemisen. Tukosten purkuaika muodostuu näytteenottolaitteessa purun kulkeutumista säiliöön ohjaavan kourun tukkeutumien poistamisesta. Näytteenottomenetelmään kuuluvien työvaiheiden ajanmenekit laskettiin ja työvaiheiden tuoman lisäajan vaikutus metsäkuljetuksen ajanmenekkiin selvitettiin yhtä latvusmassan metsäkuljetuskuormaa kohti. Tulokset koottiin taulukkoon. Lisäksi selvitettiin näytteenottomenetelmän käytön vaikutusta latvusmassan metsäkuljetuksen kokonaisajanmenekkiin vertaamalla saavutettua työsuoritusta kuormissa mitattuna yhtä tuntia, 8 tuntia ja 16 tuntia kohden. Laskelmat tehtiin käyttäen näytteenottomenetelmään kuuluvien työvaiheiden suorittamiseen kuluneita keskimääräisiä aikoja, minimaikoja sekä maksimiaikoja ja tulokset koottiin taulukoihin.

Näytteenottomenetelmän vaikutusta latvusmassan metsäkuljetuksen ajanmenekkiin tarkasteltiin myös sektoridiagrammien avulla. Ajanmenekkiä havainnollistettiin kahdella diagrammilla, joista toisessa esitetään metsäkuljetuksen ajanmenekin jakautuminen eri työvaiheisiin käytettäessä näytteenottomenetelmää. Vertailun vuoksi toisessa diagrammissa kuvataan metsäkuljetuksen ajanmenekin jakautuminen eri työvaiheisiin ilman näytteenottomenetelmään kuuluvia työvaiheita.

Näytteenottomenetelmän käyttämisestä latvusmassan metsäkuljetuksen kokonaisajanmenekkiin aiheutuva lisäaika selvitettiin myös prosentuaalisesti käyttäen kaavaa 5.

$$\frac{\text{(Kokonaisajoaika menetelmän kanssa – Kokonaisajoaika ilman menetelmää)}}{\text{Kokonaisajoaika ilman menetelmää}} * 100 \quad (5)$$

Kerätyn aikatutkimusaineiston avulla laskettiin kustannukset näytteenottomenetelmän käytölle. Kustannuslaskennassa metsätraktorin käyttötuntikustannuksena käytettiin 50 €/käyttötunti useiden muiden energiapuun metsäkuljetusta käsittelevien tutkimusten mukaisesti (Mäkelä ym. 2003, Laitila ym. 2004, Tanttu ym. 2004, Heikkilä ym. 2005). Riepon (2002) hakkuutähteen metsäkuljetuksen kustannuksia käsittelevässä tutkimuksessa metsätraktorin käyttötuntikustannus oli keskimäärin 51,50 €/käyttötunti. Näytteenottomenetelmän kustannukset lasket-

tiin myös käyttäen käyttötuntikustannuksina 55 €/tunti sekä 60 €/tunti. Kustannusten prosentuaalinen kasvu laskettiin käyttäen kaavaa 6.

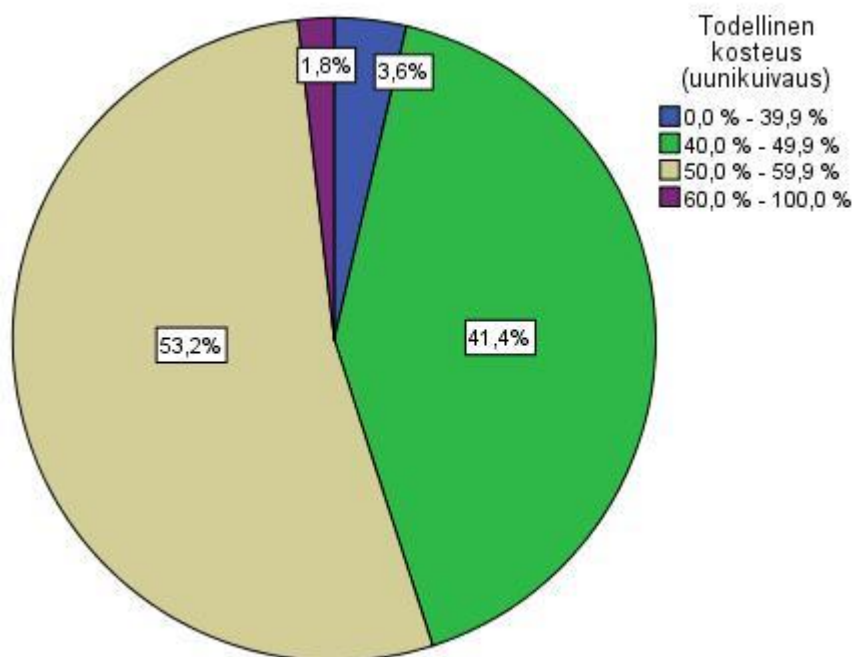
$$\frac{(\text{Kustannukset menetelmän kanssa} - \text{Kustannukset ilman menetelmää})}{\text{Kustannukset ilman menetelmää}} * 100 \quad (6)$$

Kuormakohtaisten kustannusten lisäksi näytteenottomenetelmän tuomat lisäkustannukset selvitettiin myös kiintokuutiometriä ja energiasisältöä (MWh) kohden. Kustannukset laskettiin kiintokuutiometriä kohti selvittämällä keskimääräinen kuormakoko jakamalla latvusmassakohteiden yhteenlaskettu kertymä (kiintokuutiometreinä) ajettujen kuormien lukumäärällä. Latvusmassan yhteenlaskettu kertymä oli 483,4 kiintokuutiometriä (liite 1) ja kuormia ajettiin 73 kappaletta. Keskimääräiseksi kuormakooksi saatiin noin 6,6 kiintokuutiometriä, mikä on energiasisällöksi muutettuna noin 13,2 MWh (Alakangas 2000). Kustannus kuljetettua kiintokuutiometriä kohti saatiin jakamalla kuormakohtainen kustannus keskimääräisellä kuormakoolla. Kustannus energiasisältöä kohti saatiin jakamalla kuormakohtainen kustannus keskimääräisellä energiasisällöllä, tai vaihtoehtoisesti jakamalla kustannus kuljetettua kiintokuutiometriä kohti kahdella. Alakankaan (2000) mukaan 1 kiintokuutiometri energiapuuta vastaa noin 2 megawattitunnin energiasisältöä.

3 TULOKSET

3.1 Humimeter BLL -kosteusmittarin mittaustarkkuus kenttäolosuhteissa

Tulokset-luvun ensimmäisessä osassa tarkastellaan Humimeter BLL -kosteusmittarin tarkkuutta maasto-olosuhteissa. Aluksi esitetystä kuvasta 8 ilmenee uunikuivausmenetelmällä määritettyjen kosteustulosten jakautuminen eri kosteustasoille. Kuvaa 8 voidaan käyttää perustana, johon mittarilla mitattuja kosteustuloksia verrataan.



Kuva 8. Purunäytteiden uunikuivausmenetelmällä määritettyjen todellisten kosteuspitoisuuksien jakautuminen eri kosteustasoille

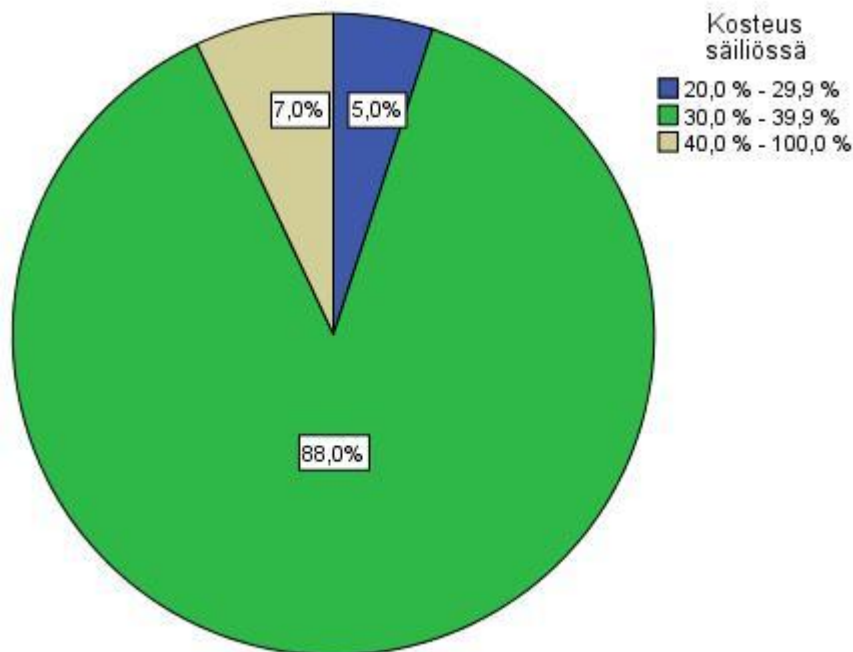
Kuvan 8 mukaan yli 50 prosentissa aineiston näytteistä todellinen kosteus on välillä 50,0 % – 59,9 %. Toiseksi suurin osa näytteiden kosteustuloksista, noin 41,4 prosenttia sijoittuu välille 40,0 % – 49,9 %. 3,6 prosentissa tuloksista kosteus on pienempi kuin 39,9 prosenttia ja 1,8 prosentissa tuloksista kosteus on suurempi kuin 60,0 prosenttia.

Kosteusmittaustulosten tunnusluvut on esitetty taulukoissa 1, 2 ja 3. Taulukoista ilmenee Humimeter BLL -mittarilla mitattujen kosteustulosten poikkeama uunikuivauksella määritetyistä näytteiden todellisista kosteuksista.

Taulukko 1. Humimeter BLL -kosteusmittarilla näytteenottolaitteen säiliössä ja ämpärissä mitattujen kosteustulosten, säiliössä ja ämpärissä mitattujen tulosten yhteisten keskiarvojen sekä referenssinäytteistä uunikuivausmenetelmällä mitattujen kosteustulosten tilastolliset tunnusluvut koko aineistossa (latvusmassa ja energiaranka). Taulukosta ilmenee mittarilla mitattujen kosteustulosten poikkeama verrattuna uunikuivausmenetelmällä määritettyyn kosteuteen.

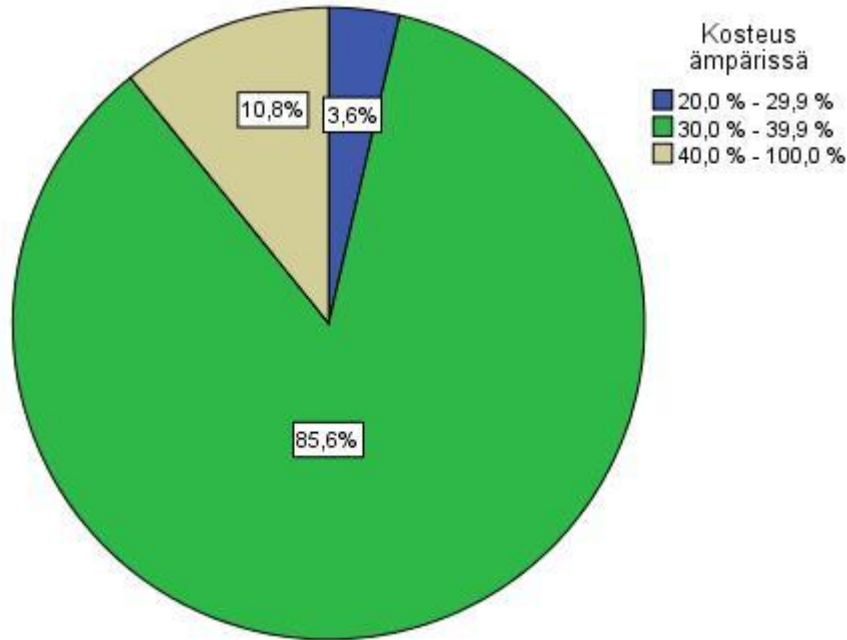
Kosteustulosten tunnusluvut	Uunikuivaus	Humimeter BLL		
		Säiliö	Ämpäri	Keskiarvo
Näytemäärä	111	100	111	111
Keskiarvo kosteus-%	50,1	35,1	35,7	35,4
Minimi	32,3	26,5	27,3	26,9
Maksimi	63,8	49,7	48,2	48,5
Vaihteluväli	31,5	23,2	20,9	21,6
Keskihajonta	5,0	3,4	3,6	3,3
Ero referenssiin (prosenttiyksikköä)		-15,0	-14,5	-14,7

Taulukossa 1 on esitetty koko kosteusaineiston tunnusluvut. Kaikkien mittarilla mitattujen kosteustulosten yhteiseksi keskiarvoksi muodostui 35,4 prosenttia. Uunikuivausmenetelmällä määritetty keskiarvokosteus koko aineistossa oli 50,1 prosenttia. Mittarin näyttämä kosteus oli koko aineistossa keskimäärin 14,7 prosenttiyksikköä uunikuivausmenetelmällä määritettyä kosteutta alempi.



Kuva 9. Humimeter BLL -kosteusmittarilla näytteenottolaitteen säiliössä mitattujen kosteustulosten jakautuminen eri kosteustasoille

Kuvasta 9 ilmenee Humimeter BLL -mittarilla näytteenottolaitteen säiliössä mitattujen kosteustulosten jakautuminen eri kosteusluokkiin. Kuvasta nähdään, että 88,0 prosenttia eli selvä enemmistö mittaustuloksista sijoittuu välille 30,0 % – 39,9 %. 5,0 prosentissa tuloksista kosteus on välillä 20,0 % – 29,9 % ja 7,0 prosentissa tuloksista kosteus on suurempi kuin 40,0 prosenttia.



Kuva 10. Humimeter BLL -kosteusmittarilla muovikämpärissä mitattujen kosteustulosten jakautuminen eri kosteustasoille

Kuvasta 10 käy ilmi Humimeter BLL -mittarilla muovikämpärissä mitattujen kosteustulosten jakautuminen eri kosteusluokkiin. Kuvasta nähdään, että 85,6 prosenttia eli selvä enemmistö mittaustuloksista sijoittuu välille 30,0 % – 39,9 %. 3,6 prosentissa tuloksista kosteus on välillä 20,0 % – 29,9 % ja 10,8 prosentissa tuloksista kosteus on suurempi kuin 40,0 prosenttia.

Taulukko 2. Latvusmassanäytteistä Humimeter BLL -kosteusmittarilla näytteenottolaitteen säiliössä ja ämpärissä mitattujen kosteustulosten, säiliössä ja ämpärissä mitattujen tulosten yhteisten keskiarvojen sekä referenssinäytteistä uunikuivausmenetelmällä mitattujen kosteustulosten tilastolliset tunnusluvut. Taulukosta ilmenee mittarilla mitattujen kosteustulosten poikkeama verrattuna uunikuivausmenetelmällä määritettyyn kosteuteen.

Kosteustulosten tunnusluvut	Uunikuivaus	Humimeter BLL		
		Säiliö	Ämpäri	Keskiarvo
Näytemäärä	73	62	73	73
Keskiarvo kosteus-%	50,7	35,0	35,8	35,4
Minimi	32,3	26,5	27,3	26,9
Maksimi	63,8	49,7	48,2	48,5
Vaihteluväli	31,5	23,2	20,9	21,6
Keskihajonta	5,9	4,0	4,3	3,9
Ero referenssiin (prosenttiyksikköä)		-15,7	-14,9	-15,2

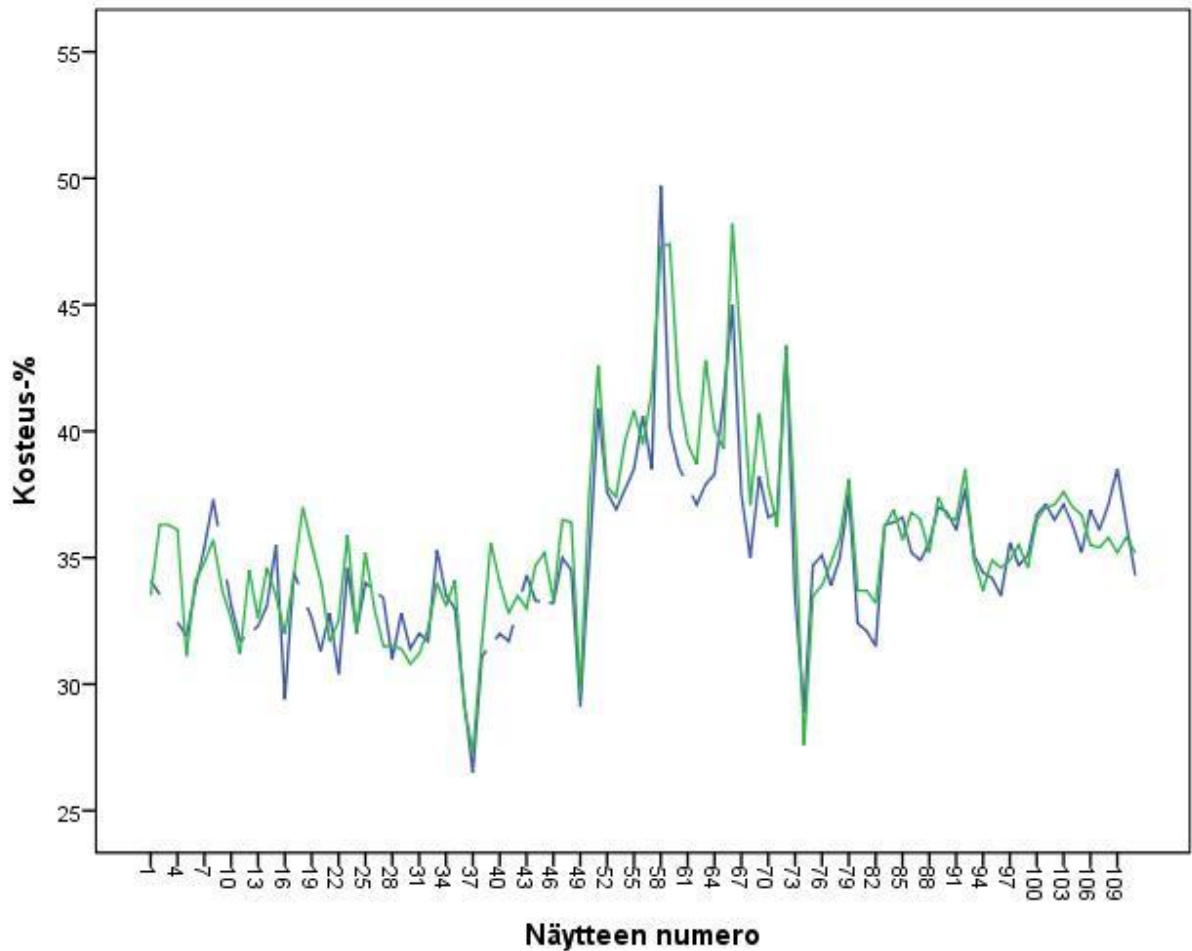
Taulukon 2 mukaan näytteenottolaitteen säiliössä ja muoviämpärissä Humimeter BLL -mittarilla mitattujen kosteustulosten keskiarvo on latvusmassanäytteillä 35,4 prosenttia ja vastaavasti uunikuivausmenetelmällä selvitettyjen referenssinäytteiden kosteuden keskiarvo on 50,7 prosenttia. Mittarin näyttämä kosteus on latvusmassanäytteillä 15,2 prosenttiyksikköä uunikuivausmenetelmällä määritettyä kosteutta alempi.

Taulukko 3. Energiarankanäytteistä Humimeter BLL -kosteusmittarilla näytteenottolaitteen säiliössä ja ämpärissä mitattujen kosteustulosten, säiliössä ja ämpärissä mitattujen tulosten yhteisten keskiarvojen sekä referenssinäytteistä uunikuivausmenetelmällä mitattujen kosteustulosten tilastolliset tunnusluvut. Taulukosta ilmenee mittarilla mitattujen kosteustulosten poikkeama verrattuna uunikuivausmenetelmällä määritettyyn kosteuteen.

Kosteustulosten tunnusluvut	Uunikuivaus	Humimeter BLL		
		Säiliö	Ämpäri	Keskiarvo
Näytemäärä	38	38	38	38
Keskiarvo kosteus-%	49,2	35,4	35,5	35,4
Minimi	43,1	28,9	27,6	28,3
Maksimi	52,9	38,5	38,5	38,1
Vaihteluväli	9,8	9,6	10,9	9,9
Keskihajonta	1,9	1,9	1,8	1,8
Ero referenssiin (prosenttiyksikköä)		-13,8	-13,7	-13,7

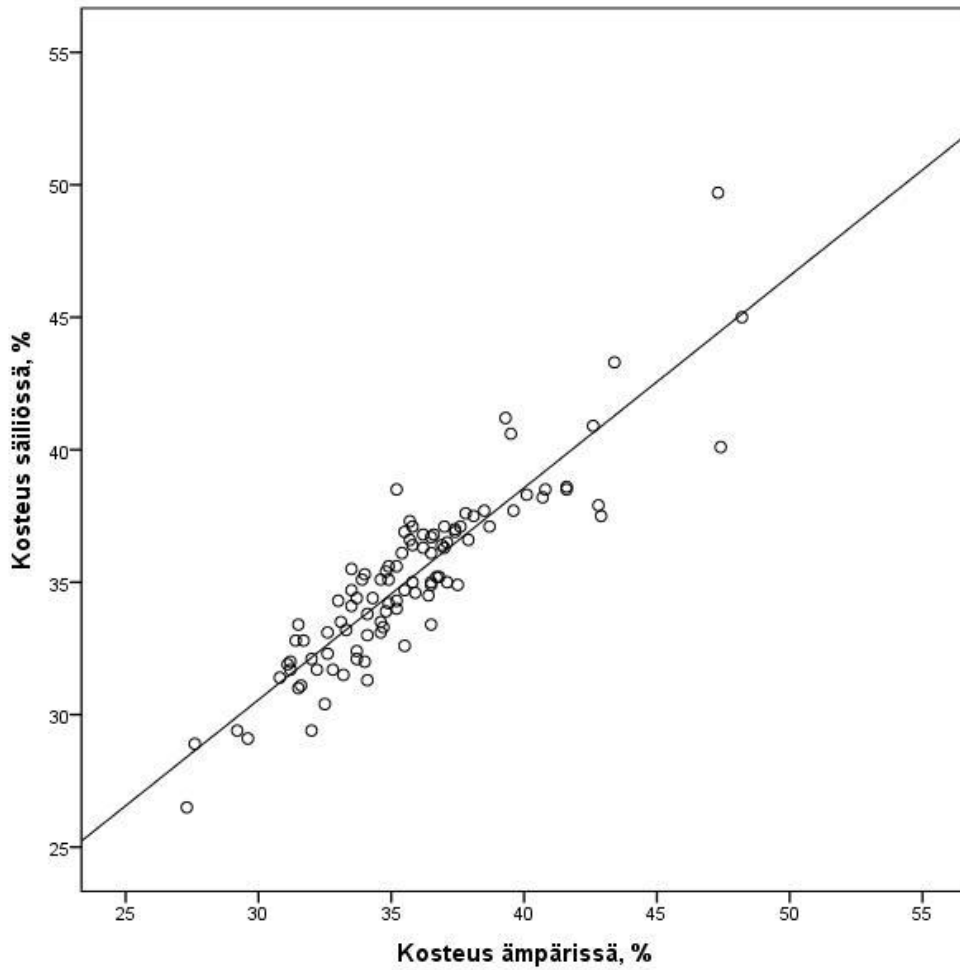
Taulukon 3 mukaan energiarankanäytteistä uunikuivausmenetelmällä määritettyjen kosteustulosten keskiarvo on 49,2 prosenttia. Näytteenottolaitteen säiliössä ja muoviämpärissä kosteusmittarilla mitattujen tulosten keskimääräinen kosteus on 35,4 prosenttia. Mittarin antama

kosteus on energiarankanäytteillä 13,7 prosenttiyksikköä uunikuivausmenetelmällä määritettyä kosteutta alempi.



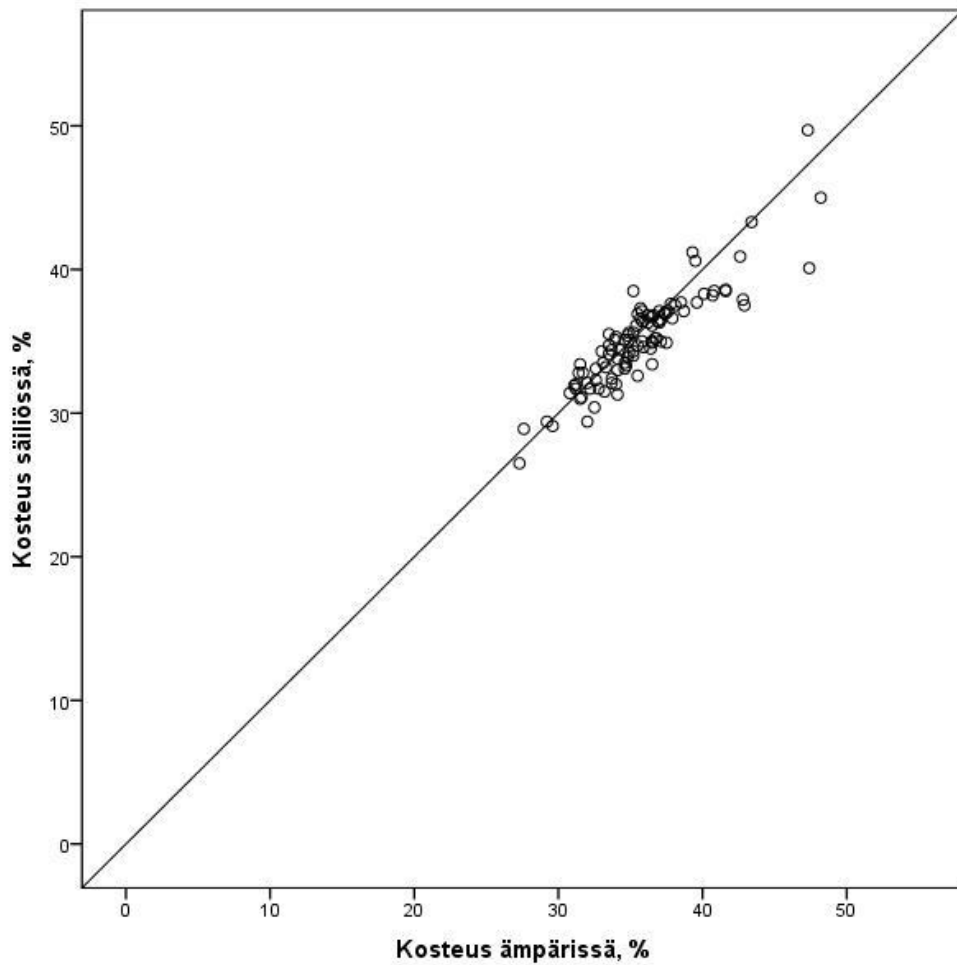
Kuva 11. Humimeter BLL -kosteusmittarilla näytteenottolaitteen säiliössä (sininen) ja muovikämpärissä (vihreä) purunäytteistä mitatut kosteustulokset

Kuvassa 11 on esitetty näytteenottolaitteen säiliössä (sininen) ja muovikämpärissä (vihreä) Humimeter BLL -mittarilla mitatut kosteustulokset. Mittaustulokset ovat melko lähellä toisiinsa ja muuttujien välillä on tilastollisesti merkitsevä yhteys, mikä on todettu taulukossa 4. Kuvasta havaitaan, että kosteustulokset näytteiden 51 – 73 välillä ovat muita korkeampia. Kyseiset näytteet on kerätty latvusmassan keruukohteilta 2, 3 ja 4, joiden perustiedot löytyvät liitteestä 1. Näytteet 37 ja 74 ovat Humimeter BLL -mittarilla mitattujen tulosten perusteella kosteudeltaan kuivimpia.



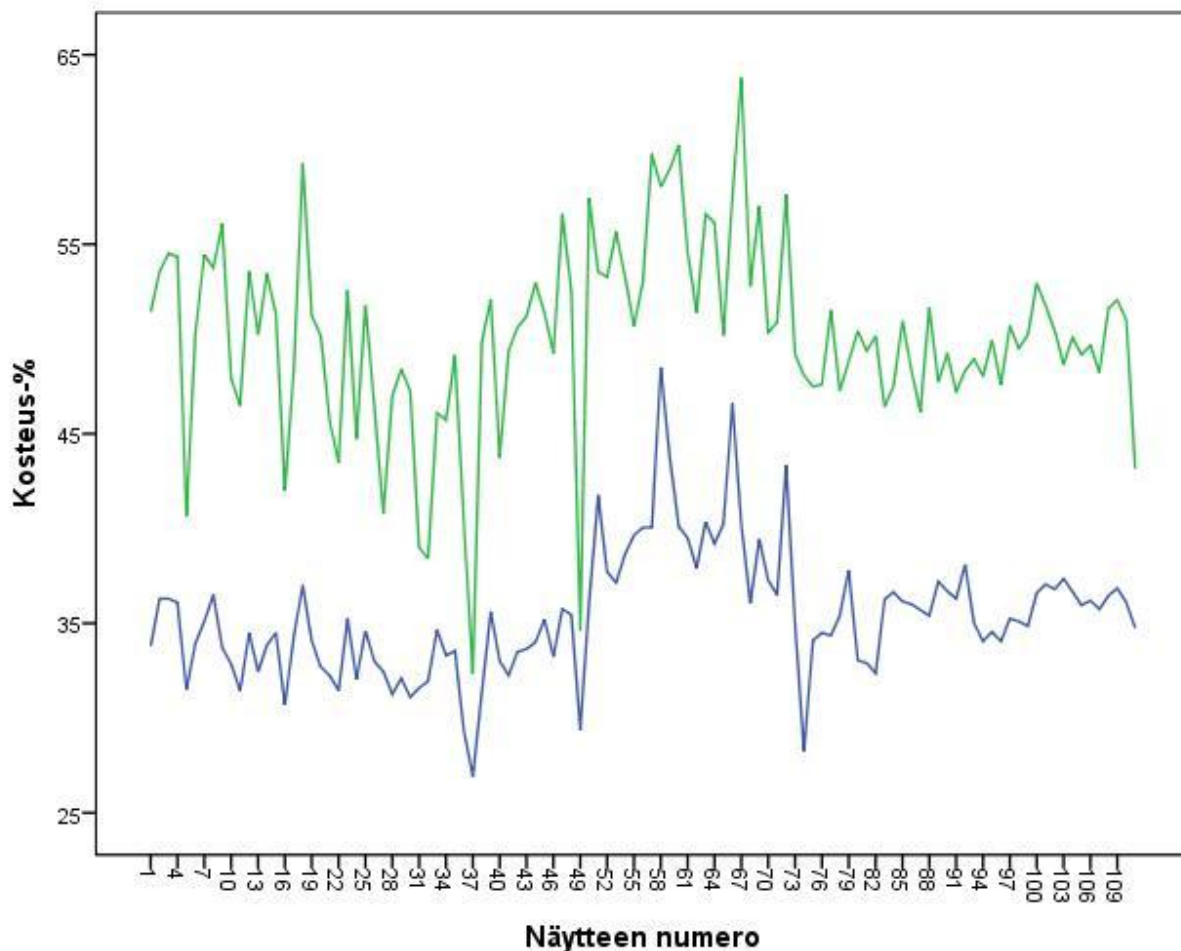
Kuva 12. Humimeter BLL -mittarilla näytteenottolaitteen säiliössä ja muoviämpärissä mitatut kosteustulokset sekä kosteustulosten muodostamaan havaintojoukkoon sovitettu suora

Kuvasta 12 nähdään, mikä on kunkin näytteen kosteus mitattuna Humimeter BLL -mittarilla näytteenottolaitteen säiliössä ja muoviämpärissä. Mittaustulokset ovat melko lähellä toisiaan ja muuttujien välillä on tilastollisesti merkitsevä yhteys, mikä on todettu taulukossa 4. Havaintojoukkoon sovitetun suoran selitysaste R^2 on 0,809.



Kuva 13. Humimeter BLL -mittarilla näytteenottolaitteen säiliössä ja muoviämpärissä mitattujen kosteustulosten muodostaman havaintojoukon sijoittuminen suoran $x = y$ suhteen

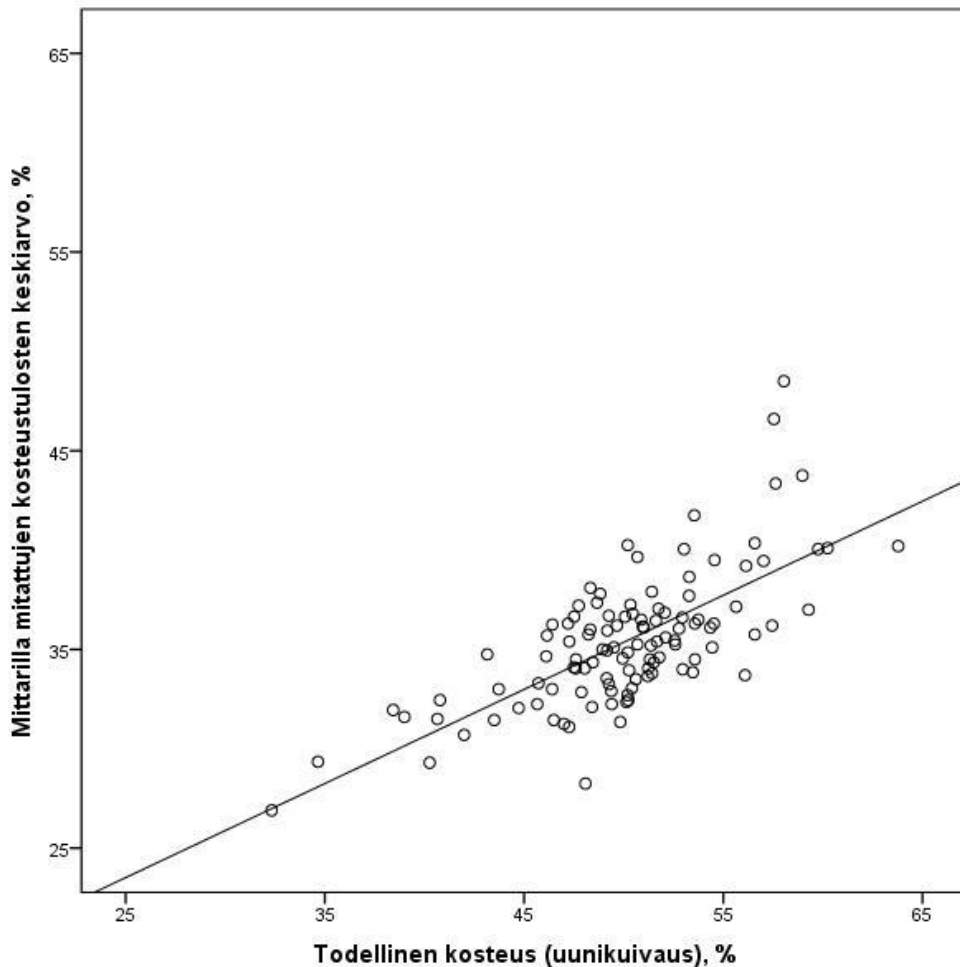
Kuvassa 13 esitetään näytteenottolaitteen säiliössä ja muoviämpärissä Humimeter BLL -mittarilla mitatuista kosteustuloksista muodostuvan havaintojoukon sijoittuminen suoran $x = y$ suhteen. Kuvasta nähdään, että havainnot sijoittuvat melko lähelle kyseistä suoraa, joten mittaustulokset ovat melko lähellä toisiaan. Suoralle sijoittuvissa havaintojoukon pisteissä näytteenottolaitteen säiliössä ja ämpärissä mittarilla mitatut kosteustulokset ovat hyvin lähellä toisiaan.



Kuva 14. Humimeter BLL -kosteusmittarilla näytteenottolaitteen säiliössä ja muovikämpärissä mitattujen kosteustulosten keskiarvot (sininen) sekä referenssinäytteistä uunikuivausmenetelmällä selvitetty todelliset kosteudet (vihreä)

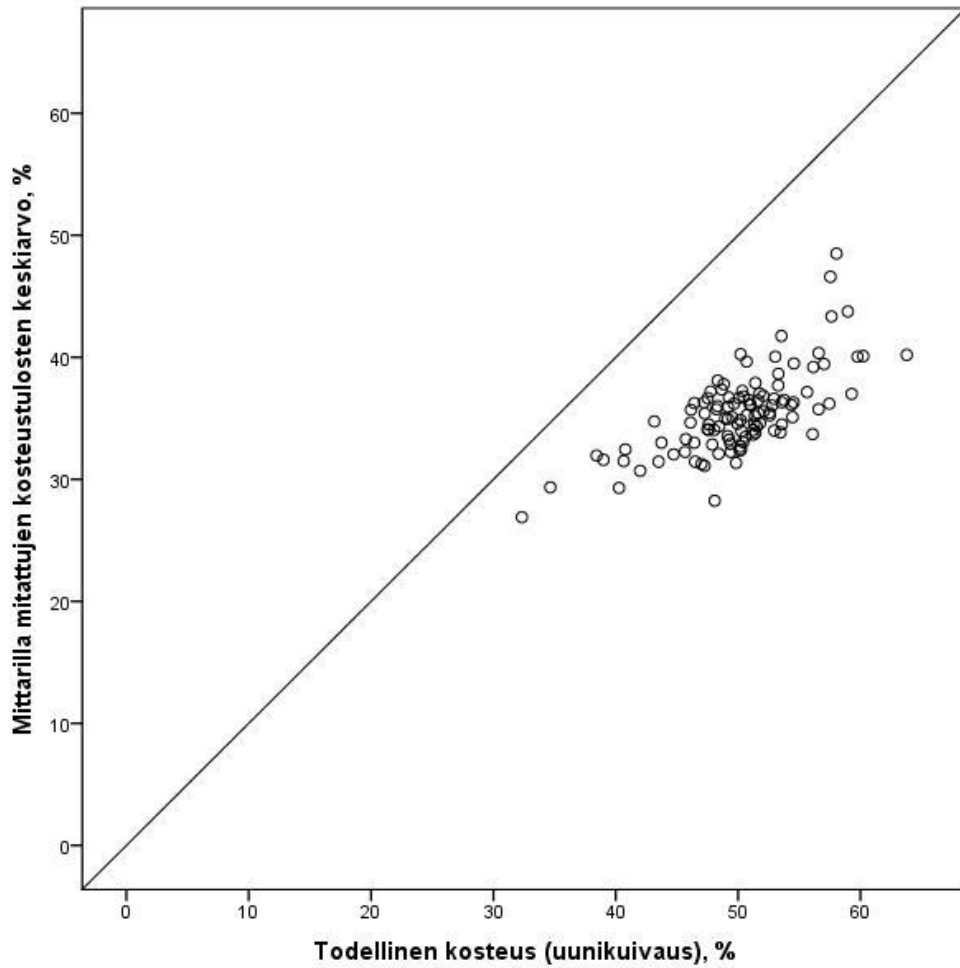
Yllä olevassa kuvassa 14 on esitetty näytteenottolaitteen säiliössä ja kämpärissä Humimeter BLL -mittarilla mitattujen kosteustulosten keskiarvot (sininen) ja uunissa kuivattujen referenssinäytteiden kosteustulokset (vihreä). Mittarin näyttämä kosteus on koko aineistossa keskimäärin 14,7 prosenttiyksikköä uunikuivausmenetelmällä määritettyä kosteutta alempi, mutta kosteustuloksilla havaitaan olevan yhteys keskenään. Muuttujien välillä on kuvan perusteella yhteys, minkä on todettu olevan tilastollisesti merkitsevä (taulukko 4). Kuvasta havaitaan, että näytteet 51 – 73 ovat muita kosteampia. Kyseiset näytteet on kerätty latvusmassan keruukohteilta 2, 3 ja 4, joiden perustiedot löytyvät liitteestä 1. Näytteiden 37 ja 49 välinen ero mittarilla mitatun ja uunikuivausmenetelmällä määritetyn kosteuden välillä on koko aineiston pienin. Näytteen 37 mittarilla mitattu kosteus eroaa uunikuivausmenetelmän tuloksesta 5,43 prosenttia ja näytteen 49 mittarilla saatu kosteustulos eroaa uunikuivausmene-

telmällä määritetystä kosteudesta. Näytteet 37 ja 49 ovat ainoat näytteet, jossa myös uunikuivausmenetelmällä saatu kosteustulos on alle 35,0 prosenttia.



Kuva 15. Humimeter BLL -mittarilla näytteenottolaitteen säiliössä ja muovikämpärissä mitattujen kosteustulosten keskiarvot, referenssinäytteistä uunikuivausmenetelmällä saadut todelliset kosteudet sekä tulosten muodostamaan havaintojoukkoon sovitettu suora

Kuvasta 15 nähdään, mitkä ovat Humimeter BLL -mittarilla näytteenottolaitteen säiliössä ja kämpärissä mitattujen kosteustulosten keskiarvot ja mitkä ovat vastaavien uunikuivattujen referenssinäytteiden kosteustulokset. Muuttujien välillä on tilastollisesti merkitsevä yhteys, mikä on todettu taulukossa 4. Kuvasta havaitaan, että uunikuivausmenetelmällä määritetyt kosteustulokset ovat korkeampia kuin vastaavista näytteistä mittarilla mitatut kosteustulokset. Havaintojoukkoon sijoitetun suoran selitysaste R^2 on 0,500.



Kuva 16. Humimeter BLL -mittarilla näytteenottolaitteen säiliössä ja muoviämpärissä mitattujen kosteustulosten keskiarvojen sekä referenssinäytteistä uunikuivausmenetelmällä saattujen todellisten kosteuksien muodostaman havaintojoukon sijoittuminen suoran $x = y$ suhteen

Kuvassa 16 esitetään näytteenottolaitteen säiliössä ja muoviämpärissä Humimeter BLL -mittarilla mitattujen kosteustulosten keskiarvoista sekä referenssinäytteistä uunikuivausmenetelmällä saaduista todellisista kosteuksista muodostuvan havaintojoukon sijoittuminen suoran $x = y$ suhteen. Kuvasta havaitaan, että mittarilla mitatun ja uunikuivausmenetelmällä määritetyn kosteuden välillä on selkeä ero, koska kaikki havaintojoukon pisteet ovat kaukana suorasta. Havaintojoukon pisteet sijoittuvat suoran oikealle puolelle, mikä tarkoittaa, että uunikuivausmenetelmällä määritetyt kosteudet ovat suurempia kuin mittarilla mitatut kosteustulokset.

Kosteustulosten välisiä korrelaatioita tutkittiin SPSS:n avulla ja tulokset esitetään taulukossa 4.

Taulukko 4. Kosteustulosten väliset Pearsonin korrelaatiokertoimet (r) sekä niiden merkitsevyys (2-suuntainen) (p)

Muuttujat		Kosteus säiliössä	Kosteus ämpärissä	Kosteus uuni	Kosteus säiliössä ja ämpärissä
Kosteus säiliössä, %	Pearsonin korrelaatio	1			
	p -arvo (2-suuntainen)				
Kosteus ämpärissä, %	Pearsonin korrelaatio	,900**	1		
	p -arvo (2-suuntainen)	,000			
Kosteus uuni, %	Pearsonin korrelaatio	,669**	,719**	1	
	p -arvo (2-suuntainen)	,000	,000		
Kosteus säiliössä ja ämpärissä, %	Pearsonin korrelaatio	,971**	,978**	,707**	1
	p -arvo (2-suuntainen)	,000	,000	,000	

Korrelaatiotuloksista (taulukko 4) havaitaan, että kaikkien tutkittujen muuttujien välillä vallitsi tilastollisesti merkitsevä yhteys ($p < 0,05$) ja Pearsonin korrelaatiokertoimet ovat lähellä arvoa yksi. Tuloksista havaitaan, että mittarilla näytteenottolaitteen säiliössä ja ämpärissä mitatuilla kosteustuloksilla on tilastollisesti merkitsevä yhteys (p -arvo $< 0,05$). Näiden muuttujien tilastollisesti merkitsevään yhteyteen viittaa myös kuva 11. Taulukosta havaitaan myös, että uunikuivaetuilla referenssikosteustuloksilla ja Humimeter BLL -mittarilla mitatuilla kosteustuloksilla on tilastollisesti merkitsevä yhteys (p -arvo $< 0,05$). Korrelaatiokerroin on 0,707, mikä on lähellä arvoa 1. Näiden muuttujien tilastollisesti merkitsevään yhteyteen viittaa myös kuva 14.

3.1.1 Näytteen koostumuksen vaikutus kosteustuloksiin

Purunäytteiden koostumuksen vaikutusta kosteustuloksiin testattiin Mann-Whitneyn U-testillä. Koostumuksen vaikutusta tarkasteltiin sekä mittarilla mitattuihin kosteustuloksiin että uunikuivausmenetelmällä selvitettyihin kosteustuloksiin nähden. Testin tulokset on esitetty taulukoissa 5 ja 6.

Taulukko 5. Kosteuden keskiarvot ja hajonnat koostumusluokittain

Koostumusluokka	N	Keskiarvo \pm Keskihajonta (Humimeter BLL)	Keskiarvo \pm Keskihajonta (Uunikuivaus)
1	52	34,51 \pm 2,49	47,65 \pm 4,29
2	20	34,78 \pm 2,59	50,16 \pm 4,84
3	39	36,98 \pm 4,05	53,47 \pm 3,89

Taulukosta 5 havaitaan, että mittarilla mitatuista kosteustuloksista korkein keskiarvo ja suurin keskihajonta oli koostumusluokalla 3 eli luokalla, jonka koostumus on 'purua, paljon neulasia ja oksia'. Uunikuivausmenetelmällä määritetyistä kosteustuloksista suurin keskimääräinen kosteus oli myös koostumusluokalla 3, mutta luokan keskihajonta oli uunikuivauksella saaduista tuloksista pienin.

Taulukko 6. Mann-Whitneyn U-testien tulokset näytteen koostumusluokkien (1, 2 ja 3) vaikutuksesta mittarilla mitattuun ja uunikuivausmenetelmällä määritettyyn kosteuteen

Vertailu	Mann-Whitneyn U- testisuure (Humimeter BLL)	<i>p</i> -arvo (Humimeter BLL)	Mann-Whitneyn U- testisuure (Uunikuivaus)	<i>p</i> -arvo (Uunikuivaus)
1 vs 2	502,5	0,826	373,0	0,065
1 vs 3	730,0	0,023	258,0	0,000
2 vs 3	269,5	0,054	224,5	0,008

Mann-Whitneyn U-testien tulokset on koottu taulukkoon 6. Taulukosta havaitaan, että testattaessa koostumusluokkien 1 ja 2, eli 'puhdasta purua' ja 'purua, neulasia ja oksia', vaikutusta mittarilla mitattuun kosteustulokseen, ei havaittu olevan tilastollista eroa kosteudessa. Käytettäessä 5 prosentin merkitsevyystasoa *p*-arvon ollessa suurempi kuin 0,05 nollahypoteesi jää voimaan. Testattaessa koostumusluokkaparin 1 – 3, eli 'puhdasta purua' – 'purua, paljon neulasia ja oksia', vaikutusta mittarilla mitattuun kosteuteen havaitaan, että *p*-arvo on pienempi kuin 0,05 ja nollahypoteesi hylätään. Sillä, koostuuko näyte puhtaasta purusta vai paljon neulasia ja oksia sisältävästä purusta, on testin perusteella vaikutusta mittarilla mitattuun kosteustulokseen. Testattaessa koostumusluokkaparin 2 – 3, eli 'purua, neulasia ja oksia' – 'purua, paljon neulasia ja oksia', vaikutusta mittarilla mitattuihin kosteustuloksiin havaitaan, että *p*-arvo on lähellä 0,05:ttä. Testin tuloksen perusteella vaihtoehtoinen hypoteesi H_1 hylätään. Tässä tapauksessa on kuitenkin syytä huomioida, että jos asiaa tarkasteltaisiin 10 prosentin merkitsevyystasolla, niin H_0 hylättäisiin ja vaihtoehtoinen hypoteesi H_1 jäisi voimaan. 10 prosentin merkitsevyystasolla tarkasteltaessa testin tulos merkitsee sitä, että sillä, koostuuko näy-

te purusta, jonka seassa on neulasia ja oksia, vai purusta, jonka seassa on runsaasti oksia ja neulasia, on vaikutusta mittarilla mitattuihin kosteustuloksiin. 5 prosentin merkitsevyystasolla tarkasteltuna vaikutusta ei ole.

Taulukossa 6 esitetään myös testien tulokset, joissa tutkittiin eri koostumusluokkaparien vaikutusta uunikuivausmenetelmällä saatuihin kosteustuloksiin. Testattaessa koostumusluokkaparin 1 – 2, eli 'puhdasta purua' – 'purua, neulasia ja oksia', vaikutusta uunikuivauksella saatuun kosteuteen havaitaan, että p -arvo on 0,065. Tämä tarkoittaa, että 5 prosentin merkitsevyystasolla tarkasteltuna nollahypoteesi jää voimaan, mutta 10 prosentin merkitsevyystasolla tarkasteltuna vaihtoehtoinen hypoteesi H_1 jää voimaan. 10 prosentin merkitsevyystasolla tarkasteltuna testin tulos tarkoittaa, että sillä koostuuko näyte puhtaasta purusta vai purusta, jonka seassa on neulasia ja oksia, on vaikutusta uunikuivausmenetelmällä saatuihin kosteustuloksiin. 5 prosentin merkitsevyystasolla tarkasteltuna vaikutusta ei ole. Testattaessa koostumusluokkaparin 1 – 3, eli 'puhdasta purua' – 'purua, paljon neulasia ja oksia', vaikutusta uunikuivauksella saatuun kosteuteen havaitaan, että p -arvo on pienempi kuin 0,05 ja nollahypoteesi hylätään. Sillä, koostuuko näyte puhtaasta purusta vai paljon neulasia ja oksia sisältävästä purusta, on testin perusteella vaikutusta uunikuivauksella saatuun kosteustulokseen. Testattaessa koostumusluokkaparin 2 – 3, eli 'purua, neulasia ja oksia' – 'purua, paljon neulasia ja oksia', vaikutusta uunikuivauksella määritettyihin kosteustuloksiin havaitaan, että p -arvo on pienempi kuin 0,05 ja nollahypoteesi hylätään. Sillä, koostuuko näyte purusta, jonka seassa on neulasia ja oksia, vai purusta, jonka seassa on paljon neulasia ja oksia, on testin perusteella vaikutusta uunikuivauksella saatuun kosteustulokseen.

3.1.2 Latvusmassan ja energiarangan kuivumisajan vaikutus kosteustuloksiin

Latvusmassan ja energiarangan kuivumisajan vaikutusta kosteustuloksiin testattiin Mann-Whitney'n U-testillä. Kuivumisajan vaikutusta tarkasteltiin sekä mittarilla mitattuihin kosteustuloksiin että uunikuivausmenetelmällä selvitettyihin kosteustuloksiin nähden. Testin tulokset on esitetty taulukoissa 7 ja 8.

Taulukko 7. Kosteuden keskiarvot ja hajonnat kuivumisaikaluokittain

Kuivumisaikaluokka	N	Keskiarvo \pm Keskihajonta (Humimeter BLL)	Keskiarvo \pm Keskihajonta (Uunikuivaus)
1	12	37,91 \pm 2,03	52,11 \pm 3,83
3	33	35,35 \pm 1,87	49,15 \pm 1,62
61	50	33,34 \pm 2,04	48,68 \pm 5,76
72	16	40,23 \pm 3,60	55,33 \pm 4,05

Taulukosta 7 havaitaan, että mittarilla mitatuista kosteustuloksista korkein keskimääräinen kosteus ja suurin keskihajonta oli kuivumisaikaluokalla 72 eli luokalla, jonka kuivumisaika on 72 vuorokautta. Uunikuivausmenetelmällä määritetyistä kosteustuloksista suurin keskimääräinen kosteus oli myös kuivumisaikaluokalla 72 vuorokautta, mutta suurin keskihajonta oli kuivumisaikaluokalla 61 vuorokautta.

Taulukko 8. Mann-Whitneyn U-testien tulokset latvusmassan ja energiarangan kuivumisaikaluokkien (1 vrk, 3 vrk, 61 vrk ja 72 vrk) vaikutuksesta mittarilla mitattuun ja uunikuivausmenetelmällä määritettyyn kosteuteen

Vertailu	Mann-Whitneyn U-testisuure (Humimeter BLL)	<i>p</i> -arvo (Humimeter BLL)	Mann-Whitneyn U-testisuure (Uunikuivaus)	<i>p</i> -arvo (Uunikuivaus)
1 vs 3	74,0	0,001	68,5	0,001
1 vs 61	27,0	0,000	193,0	0,057
1 vs 72	56,0	0,066	62,0	0,114
3 vs 61	342,0	0,000	763,0	0,564
3 vs 72	50,0	0,000	44,0	0,000
61 vs 72	19,5	0,000	139,5	0,000

Mann-Whitneyn U-testien tulokset on koottu taulukkoon 8. Taulukosta havaitaan, että testattaessa kuivumisaikaluokista muodostettujen pariin vaikutusta mittarilla mitattuun kosteuteen *p*-arvo on pienempi kuin 0,05 kaikilla vertailupareilla lukuun ottamatta kuivumisaikaluokkaparia 1 vrk – 72 vrk, jonka *p*-arvo on 0,066. Tämä tarkoittaa, että 5 prosentin merkitsevyytasolla tarkasteltuna nollahypoteesi hylätään kaikissa muissa tarkasteluissa, paitsi kuivumisaikaparin 1 vrk – 72 vrk kohdalla. Muiden tarkastelujen osalta voidaan todeta, että latvusmassan ja energiarangan kuivumisajalla on vaikutusta mittarilla mitattuihin kosteustuloksiin. 5 prosentin merkitsevyytasolla tarkasteltuna kuivumisaikaparin 1 vrk – 72 vrk *p*-arvo, 0,066, johtaa nollahypoteesin hyväksymiseen. Tässä tapauksessa on kuitenkin syytä huomioda, että jos asiaa tarkasteltaisiin 10 prosentin merkitsevyytasolla, niin H_0 hylättäisiin ja vaihtoehtoinen hypoteesi H_1 jäisi voimaan. 10 prosentin merkitsevyytasolla tarkasteltaessa testin tulos mer-

kitsee sitä, että sillä, onko latvusmassan tai energiarangan kuivumisaika 1 vuorokausi vai 72 vuorokautta, on vaikutusta mittarilla mitattuihin kosteustuloksiin. 5 prosentin merkitsevyystasolla tarkasteltuna vaikutusta ei ole.

Taulukossa 8 esitetään myös testien tulokset, joissa tutkittiin eri kuivumisaikaparien vaikutusta uunikuivausmenetelmällä saatuihin kosteustuloksiin. Testattaessa kuivumisaikaparien 1 vrk – 3 vrk, 3 vrk – 72 vrk ja 61 vrk – 72 vrk vaikutusta uunikuivauksella saatuun kosteuteen havaitaan, että p -arvo on kaikkien vertailuparien osalta pienempi kuin 0,05. Tämä tarkoittaa, että nollahypoteesi hylätään ja todetaan, että sillä, onko latvusmassan ja energiarangan kuivumisaika 1 vrk vai 3 vrk, 3 vrk vai 72 vrk ja 61 vrk vai 72 vrk, on vaikutusta uunikuivauksella saatuun kosteustulokseen. Testattaessa kuivumisaikaparin 1 vrk – 61 vrk vaikutusta uunikuivauksella saatuun kosteuteen havaitaan, että p -arvo on 0,057. Tämä tarkoittaa, että 5 prosentin merkitsevyystasolla tarkasteltuna nollahypoteesi jää voimaan, mutta 10 prosentin merkitsevyystasolla tarkasteltuna vaihtoehtoinen hypoteesi H_1 jää voimaan. 10 prosentin merkitsevyystasolla tarkasteltuna testin tulos tarkoittaa, että sillä, onko latvusmassa tai energiaranka kuivunut 1 vuorokauden vai 61 vuorokautta, on vaikutusta uunikuivausmenetelmällä saatuihin kosteustuloksiin. 5 prosentin merkitsevyystasolla tarkasteltuna vaikutusta ei ole. Testattaessa kuivumisaikaparien 1 vrk – 72 vrk ja 3 vrk – 61 vrk vaikutusta uunikuivauksella määritettyyn kosteuteen havaitaan, että p -arvot ovat suurempia kuin 0,1. Tämä tarkoittaa, että nollahypoteesi jää voimaan ja sillä, onko latvusmassan tai energiarangan kuivumisaika 1 vuorokausi vai 72 vuorokautta ja 3 vuorokautta vai 61 vuorokautta ei ole vaikutusta uunikuivauksella määritettyyn kosteustulokseen.

3.1.3 Näytteen tilavuuden vaikutus kosteustuloksiin

Näytteen tilavuuden vaikutusta kosteustuloksiin testattiin Mann-Whitneyn U -testillä. Näytteen tilavuuden vaikutusta tarkasteltiin sekä mittarilla mitattuihin kosteustuloksiin että uunikuivausmenetelmällä selvitettyihin kosteustuloksiin nähden. Testin tulokset on esitetty taulukoissa 9 ja 10.

Taulukko 9. Kosteuden keskiarvot ja hajonnat näytteiden tilavuusluokittain

Näytteen tilavuusluokka	N	Keskiarvo ± Keskihajonta (Humimeter BLL)	Keskiarvo ± Keskihajonta (Uunikuivaus)
1	48	34,13 ± 2,53	50,27 ± 5,50
2	22	35,67 ± 4,21	49,61 ± 6,00
3	25	37,30 ± 3,64	50,50 ± 4,34
4	9	36,35 ± 1,69	49,29 ± 1,61
5	6	35,97 ± 1,02	50,77 ± 1,53

Taulukosta 9 voidaan havaita, että mittarilla mitatuista kosteustuloksista korkein keskimääräinen kosteus oli tilavuusluokalla 3 eli luokalla, jonka näytteiden tilavuus on 6,1 – 9,0 litraa. Suurin keskihajonta mittarilla mitatuista kosteustuloksista oli tilavuusluokalla 2 eli luokalla, jonka näytteiden tilavuus on 3,1 – 6,0 litraa. Uunikuivausmenetelmällä määritetyistä kosteustuloksista suurin keskimääräinen kosteus oli tilavuusluokalla 5 eli luokalla, jonka näytteiden tilavuus on yli 12,1 litraa. Suurin keskihajonta oli tilavuusluokalla 2, jossa näytteiden tilavuus on 3,1 – 6,0 litraa.

Taulukko 10. Mann-Whitneyn U-testien tulokset näytteiden tilavuusluokkien (1, 2, 3, 4 ja 5) vaikutuksesta mittarilla mitattuun ja uunikuivausmenetelmällä määritettyyn kosteuteen

Vertailu	Mann-Whitneyn U-testisuure (Humimeter BLL)	<i>p</i> -arvo (Humimeter BLL)	Mann-Whitneyn U-testisuure (Uunikuivaus)	<i>p</i> -arvo (Uunikuivaus)
1 vs 2	420,0	0,172	515,5	0,874
1 vs 3	241,0	0,000	570,0	0,727
1 vs 4	83,5	0,004	163,0	0,246
1 vs 5	59,0	0,019	139,0	0,891
2 vs 3	226,5	0,301	266,0	0,848
2 vs 4	87,0	0,601	75,0	0,296
2 vs 5	63,0	0,867	58,5	0,675
3 vs 4	102,0	0,682	99,0	0,598
3 vs 5	63,0	0,548	56,0	0,342
4 vs 5	26,0	0,906	14,0	0,126

Mann-Whitneyn U-testien tulokset on koottu taulukkoon 10. Taulukosta havaitaan, että testattaessa näytteiden tilavuusluokkien 1 ja 2, eli näytteiden, joiden tilavuudet ovat 0 - 3,0 litraa ja 3,1 – 6,0 litraa, vaikutusta mittarilla mitattuun kosteustulokseen, ei havaittu olevan tilastollista eroa kosteudessa. Käytettäessä 5 prosentin merkitsevyystasoa *p*-arvon ollessa suurempi kuin 0,05 nollahypoteesi jää voimaan. Testattaessa näytteiden tilavuusluokkarien 1 – 3, 1 – 4 ja 1 – 5 vaikutusta mittarilla mitattuun kosteuteen havaitaan, että *p*-arvo on pienempi kuin 0,05

ja nollasshypoteesi hylätään. Sillä onko näytteen tilavuus välillä 0 – 3,0 litraa vai 6,1 – 9,0 litraa, 0 – 3,0 litraa vai 9,1 – 12,0 litraa ja 0 – 3 litraa vai enemmän kuin 12,1 litraa, on testin perusteella vaikutusta mittarilla mitattuun kosteustulokseen. Testattaessa näytteiden tilavuusluokkaparien 2 – 3, 2 – 4, 2 – 5, 3 – 4, 3 – 5 ja 4 – 5 vaikutusta mittarilla mitattuihin kosteustuloksiin havaitaan, että Mann-Whitneyn U-testien p -arvot ovat suurempia kuin 0,1 kaikissa tapauksissa ja nollasshypoteesit jäävät voimaan. Testin tulosten perusteella todetaan, että sillä onko näytteen tilavuus välillä 3,1 – 6,0 litraa vai 6,1 – 9,0 litraa, 3,1 – 6,0 litraa vai 9,1 – 12,0 litraa, 3,1 – 6,0 litraa vai > 12,1 litraa, 6,1 – 9,0 litraa vai 9,1 – 12,0 litraa, 6,1 – 9,0 litraa vai > 12,1 litraa ja 9,1 – 12,0 litraa vai > 12,1 litraa ei ole vaikutusta mittarilla mitattuihin kosteustuloksiin.

Taulukossa 10 esitetään myös testien tulokset, joissa tutkittiin eri tilavuusluokkaparien vaikutusta uunikuivausmenetelmällä saatuihin kosteustuloksiin. Mann-Whitneyn U-testin tulosten perusteella voidaan todeta, että nollasshypoteesi jää voimaan kaikissa tapauksissa, ja että näytteen tilavuudella ei ole vaikutusta uunikuivausmenetelmällä määritettyihin kosteustuloksiin.

3.1.4 Kokoomanäytteet

Kokoomanäytteiden tulokset on esitetty taulukossa 11.

Taulukko 11. Kokoomanäytteiden (1-11) kosteudet (%) mitattuna Humimeter BLL -kosteusmittarilla eri tilavuuksilla, uunikuivausmenetelmällä selvitetty referenssinäytteen kosteus sekä kosteustulosten keskihajonnat

Tilavuus	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	Keskihajonta
20 l	37,0	35,6	36,0		39,5	42,0		35,1	39,4	37,0	36,7	2,1
12 l	36,5	35,5	36,3		40,2	41,5	39,0	34,6	37,7	35,8	37,4	2,1
8 l	36,2	35,8	35,2	36,4	41,8	40,2	41,2	33,0	37,8	36,4	36,3	2,6
4 l	36,2	34,6	34,2	36,3	39,9	39,5	38,3	33,5	35,2	35,4	36,3	2,0
2 l	33,5	34,0	32,9	35,2	37,0	38,4	37,0	32,7	35,3	33,7	35,0	1,8
Uuni	48,6	47,1	45,3	50,7	53,6	55,7	53,8	49,1	48,6	50,1	50,9	3,0

11 kokoomanäytteestä mitatut kosteustulokset on esitetty taulukossa 11. Taulukosta havaitaan, että mittarin näyttämä kosteustulos pienenee näytteen tilavuuden pienentyessä. Näytteen tilavuuden pienentyessä ero uunikuivausmenetelmällä määritettyyn todelliseen kosteuteen

kasvaa. Kosteustulosten keskihajonnat ovat melko tasaiset kaikilla mitatuilla tilavuuksilla. Suurin keskihajonta on uunikuivausmenetelmällä määritetyillä kosteustuloksilla.

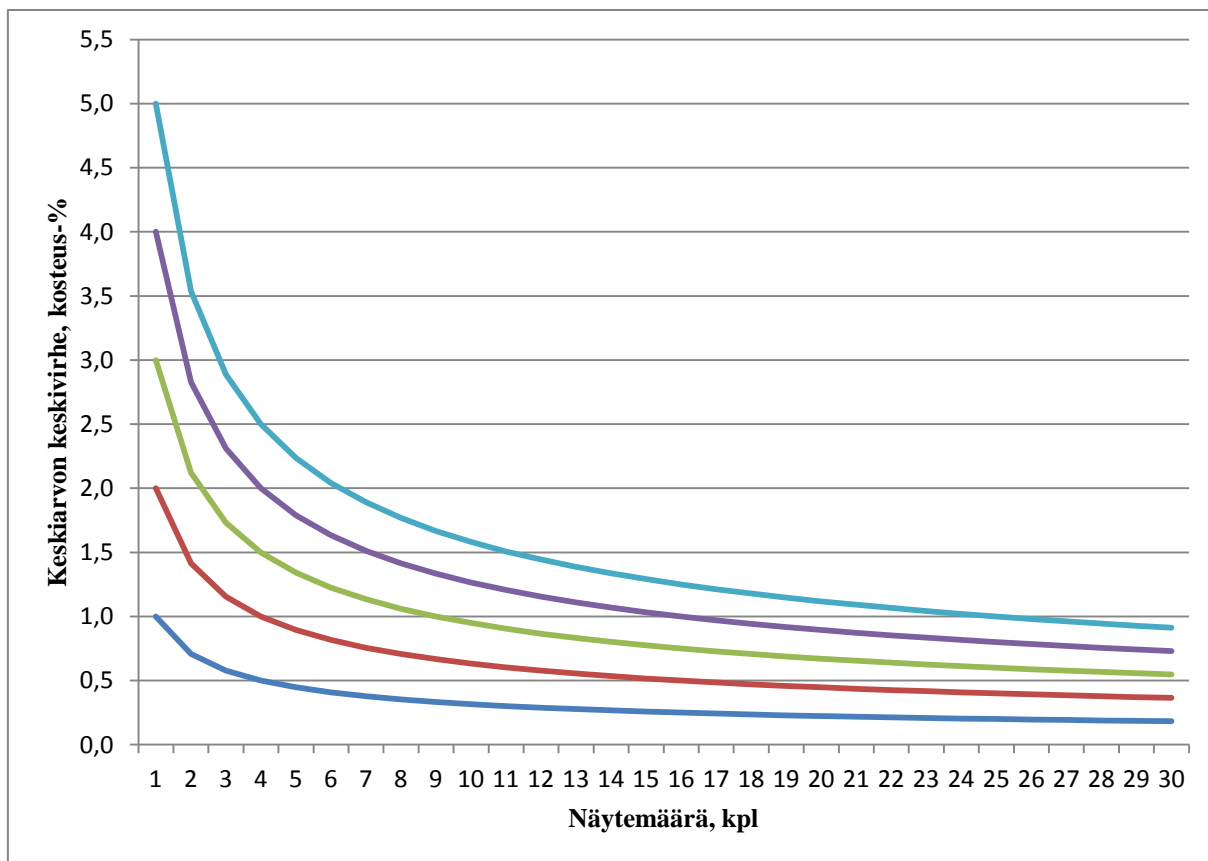
3.2 Purun kertyminen ja näytekoko

Taulukossa 12 on esitetty purun kertyminen näytteenottolaitteen säiliöön. Latvusmassasta tehdyissä näytteenottosahauksissa purua kertyi keskimäärin 0,7 desilitraa/sahaus. Energiarankasta tehdyissä näytteenottosahauksissa purua kertyi puolestaan 1,4 desilitraa/sahaus. Keskimäärin näytteenottosahauksissa kertyi purua 1 desilitra/sahaus. Tulosten mukaan latvusmassasta tarvitaan noin kaksinkertainen määrä sahauksia energiarankaan verrattuna, jotta saadaan kerättyä sama määrä purua kuin energiarangasta.

Taulukko 12. Purun kertyminen näytteenottolaitteen säiliöön

	Näytteen tilavuuden keskiarvo (litraa)	Sahauksien keskiarvo (kpl)	Puraa/sahaus keski- määrin (litraa)
Latvusmassa	3,2	45,5	0,07
Energiaranka	9,0	62,3	0,14
Koko aineisto	5,2	51,3	0,10

Kuvassa 17 havainnollistetaan keskihajontakäyrien avulla halutun mittaustarkkuuden, eli tässä tapauksessa kosteusmittauksen keskiarvon keskivirheen, saavuttamisen edellyttämää näytemäärää. Kuvasta havaitaan, että mikäli halutaan pitää kosteuden mittaustulosten keskiarvon keskivirhe esimerkiksi 1,0 prosentissa tai alle, niin tarvittava näytemäärä on 9 näytettä kosteustulosten keskihajonnan ollessa 3,0 prosenttiyksikköä.



Kuva 17. Näyttemäärän riippuvuus tavoitellusta mittaustarkkuudesta (kosteuksien keskihajonnan keskiarvosta). Käyrät kuvaavat alhaalta ylöspäin lueteltuna 1, 2, 3, 4 ja 5 prosenttiyksikön keskihajontoja kosteuden mittaustuloksissa.

3.3 Näytteenottomenetelmän ajanmenekki ja kustannusanalyysi

3.3.1 Ajanmenekki

Taulukosta 13 ilmenee näytteenottomenetelmän mukanaan tuomien uusien työvaiheiden keskimääräiset ajanmenekit yhtä latvusmassan metsäkuljetuskuormaa kohti. Näytteenottosahauksiin kului lyhyimmillään noin 53,0 sekuntia ja pisimmillään noin 2 minuuttia ja 59 sekuntia. Sahausaika oli keskimäärin noin 1 minuutti ja 27 sekuntia. Näytteenottolaitteen purun kulkua ohjaava kouru ei kaikkien kuormien kohdalla tukkeutunut kertaakaan, joten tukosten purkuun ei välttämättä kulunut aikaa ollenkaan. Pisimmillään tukosten purkuun kului 6 minuuttia ja 43 sekuntia. Keskimäärin tukosten purkuun kului noin 2 minuuttia ja 6 sekuntia. Kosteuden mittaamiseen kului lyhyimmillään noin 1 minuutti ja 40 sekuntia ja pisimmillään noin 4 minuuttia ja 21 sekuntia. Keskimäärin kosteuden mittaukseen kului aikaa noin 2 minuuttia ja 44 sekuntia.

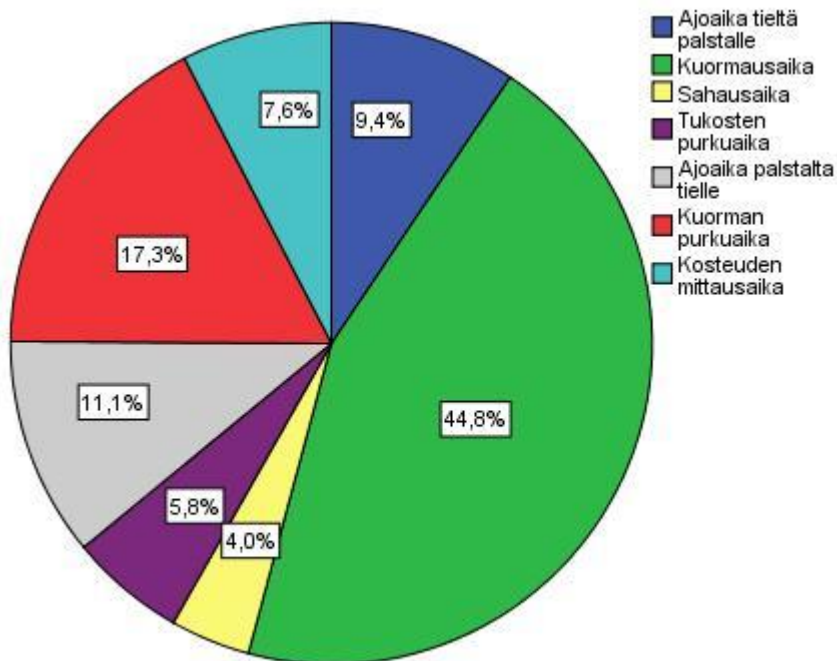
Taulukko 13. Näytteenottomenetelmään kuuluvien työvaiheiden ajanmenekki latvusmassan metsäkuljetuksessa (hh:min:sek,sek.osat)

Työvaihe	N	Minimi	Maksimi	Keskiarvo
Sahausaika	70	00:00:53,1	00:02:58,8	00:01:27,3
Tukosten purkuaika	70	00:00:00,0	00:06:43,0	00:02:06,4
Kosteusmittausaika	70	00:01:39,6	00:04:20,8	00:02:44,3

Taulukko 14. Näytteenottomenetelmän vaikutus yhden latvusmassan metsäkuljetuskuorman kokonaisajoaikaan (hh:min:sek,sek.osat)

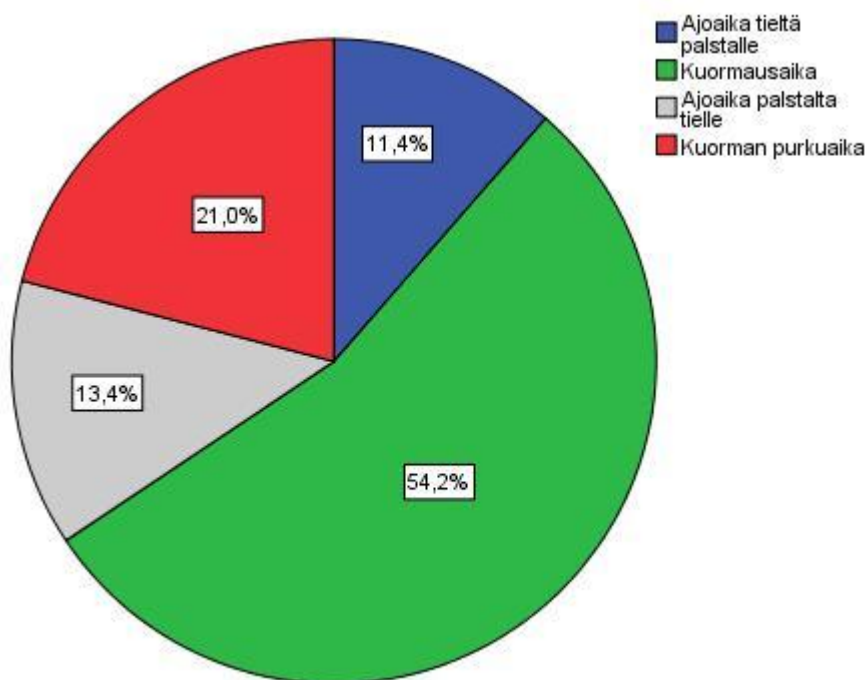
	N	Minimi	Maksimi	Keskiarvo
Kuorman kokonaisajoaika ilman menetelmää	70	00:17:41,2	01:21:25,6	00:29:47,9
Kuorman kokonaisajoaika menetelmän kanssa	70	00:22:02,8	01:27:37,5	00:36:05,9
Menetelmän tuoma aikalisäys	70	00:03:48,2	00:12:32,4	00:06:18,1

Taulukossa 14 on esitetty näytteenottomenetelmän vaikutus latvusmassan metsäkuljetuskuorman kokonaisajoaikaan. Yhden kuorman ajaminen ilman näytteenottomenetelmän lisätyövaiheita olisi kestänyt lyhyimmillään noin 17 minuuttia ja 41 sekuntia. Pisimmillään kuorman ajamiseen olisi kulunut noin 1 tunti, 21 minuuttia ja 26 sekuntia. Keskimäärin yhden kuorman ajamiseen ilman näytteenottomenetelmän työvaiheita olisi kulunut aikaa noin 29 minuuttia ja 48 sekuntia. Näytteenottomenetelmää käytettäessä kuorman ajaminen kesti lyhyimmillään noin 22 minuuttia ja 3 sekuntia. Pisimmillään kuorman ajamiseen kului aikaa noin 1 tunti, 27 minuuttia ja 38 sekuntia. Keskimäärin yhden metsäkuljetuskuorman ajamiseen näytteenottomenetelmän työvaiheiden kanssa kului aikaa noin 36 minuuttia ja 6 sekuntia. Näytteenottomenetelmään kuuluvien työvaiheiden suorittamiseen kului lyhyimmillään noin 3 minuuttia ja 48 sekuntia. Pisimmillään näytteenottomenetelmän työvaiheiden suorittaminen kesti noin 12 minuuttia ja 32 sekuntia. Keskimäärin näytteenottomenetelmään kuuluvien työvaiheiden suorittamiseen kului aikaa noin 6 minuuttia ja 18 sekuntia yhtä metsäkuljetuskuormaa kohti.



Kuva 18. Latvusmassan metsäkuljetuksen ajanmenekin jakautuminen eri työvaiheisiin, kun käytetään tutkittavana olevaa näytteenottomenetelmää

Kuvassa 18 on esitetty latvusmassan metsäkuljetuksen ajanmenekki työvaiheittain eriteltynä käyttäen tutkittavana olevaa näytteenottomenetelmää. Eniten aikaa kului kuormaukseen, noin 44,8 prosenttia metsäkuljetukseen kuluneesta ajasta. Toiseksi eniten aikaa kului kuorman purkuun, noin 17,3 prosenttia metsäkuljetuksen kestosta. Kolmanneksi eniten aikaa, noin 11,1 prosenttia, kului siirtymiseen viimeiseltä kuormatulta kasalta tienvarteen. Siirtymiseen tienvarresta ensimmäiselle kuormattavalle kasalle eli tyhjänä ajoon kului noin 9,4 prosenttia metsäkuljetuksen kestosta. Näytteenottomenetelmän mukanaan tuomista työvaiheista eniten aikaa kului kosteusmittausten suorittamiseen. Kosteuden mittaamiseen kului noin 7,6 prosenttia metsäkuljetuksen kokonaisajasta. Näytteenottolaitteessa purun kulkua säiliöön ohjaava kouru tukkeutui ajoittain ja tukkeutumien poistamiseen kului noin 5,8 prosenttia metsäkuljetuksen kokonaisajankulutuksesta. Näytteiden keruuta varten tehtyihin sahauksiin kului noin 4,0 prosenttia metsäkuljetuksen kokonaisajanmenekistä.



Kuva 19. Latvusmassan metsäkuljetuksen ajanmenekin jakautuminen eri työvaiheisiin ilman näytteenottomenetelmää

Kuvassa 19 on esitetty latvusmassan metsäkuljetuksen ajanmenekki työvaiheittain eriteltyinä ilman näytteenottomenetelmää. Tulokset pohjautuvat latvusmassan metsäkuljetuksen yhteydessä kerättyyn aikatutkimusaineistoon. Näytteenottomenetelmän mukanaan tuomien työvaiheiden eli sahauksen, tukosten purkamisen ja kosteusmittauksen ajanmenekit on poistettu, joten kuvasta 17 nähdään normaalin latvusmassan metsäkuljetuksen ajanmenekki tutkimuksen aineiston keruukohteilla. Suurin osa, noin 54,2 prosenttia, metsäkuljetukseen kuluneesta ajasta kului kuormaukseen. Toiseksi eniten aikaa, noin 21,0 prosenttia, kului kuorman purkuun tienvarressa. Kolmanneksi eniten aikaa, noin 13,4 prosenttia, kului siirtymiseen viimeiseltä kuormatulta kasalta tienvarteen. Siirtymiseen tienvarresta ensimmäiselle kuormattavalle kasalle eli tyhjänä ajoon kului noin 11,4 prosenttia metsäkuljetukseen kuluneesta ajasta.

3.3.2 Kustannusanalyysi

Taulukko 15. Näytteenottomenetelmän vaikutus latvusmassan metsäkuljetuksen kokonaisajanmenekkiin keskimäärin (hh:min:ss)

	Ajoaika		
	1 tunti, 2 kuormaa	1 työvuoro, 8 tuntia, 16 kuormaa	2 työvuoroa, 16 tuntia, 32 kuormaa
Kuorman kokonaisajoaika ilman menetelmää	0:59:36	7:56:46	15:53:31
Kuorman kokonaisajoaika menetelmän kanssa	1:12:12	9:37:35	19:15:10
Menetelmän tuoma aikalisäys	0:12:36	1:40:49	3:21:38

Taulukossa 15 on esitetty latvusmassan metsäkuljetuksen ajanmenekki ilman näytteenottomenetelmää ja näytteenottomenetelmän kanssa. Taulukossa on laskettu näytteenottomenetelmän vaikutus latvusmassan metsäkuljetuksen kokonaisajanmenekkiin käyttäen laskuperusteena näytteenottomenetelmään kuuluvien työvaiheiden suorittamiseen kuluneita keskimääräisiä aikoja. Laskelmat perustuvat taulukossa 14 esitettyihin yhden metsäkuljetuskuorman keskimääräisiin kokonaisajoaikoihin. Prosentuaalisesti ilmaistuna latvusmassan metsäkuljetuksen ajanmenekki kasvaa näytteenottomenetelmän käytön myötä noin 21,1 prosenttia.

Taulukko 16. Näytteenottomenetelmän vaikutus latvusmassan metsäkuljetuksen kokonaisajanmenekkiin laskettuna menetelmään kuuluvien työvaiheiden minimiajanmenekin mukaan (hh:min:ss)

	Ajoaika		
	1 tunti, 3 kuormaa	1 työvuoro, 8 tuntia, 27 kuormaa	2 työvuoroa, 16 tuntia, 54 kuormaa
Kuorman kokonaisajoaika ilman menetelmää	0:53:04	7:57:32	15:55:04
Kuorman kokonaisajoaika menetelmän kanssa	1:06:08	9:55:15	19:50:31

Taulukossa 16 on laskettu näytteenottomenetelmän vaikutus latvusmassan metsäkuljetuksen kokonaisajanmenekkiin käyttäen laskuperusteena näytteenottomenetelmään kuuluvien työvaiheiden suorittamiseen kuluneita minimiaikoja. Latvusmassan metsäkuljetuksen kokonais-

ajanmenekki kasvaa näytteenottomenetelmän käytön myötä noin 24,7 prosenttia laskettuna työvaiheisiin kuluneiden minimiaikojen mukaan.

Taulukko 17. Näytteenottomenetelmän vaikutus latvusmassan metsäkuljetuksen kokonaisajanmenekkiin laskettuna menetelmään kuuluvien työvaiheiden maksimijänmenekin mukaan (hh:min:ss)

	Ajoaika		
	2 tuntia, 1 kuorma	1 työvuoro, 8 tuntia, 5 kuormaa	2 työvuoroa, 16 tuntia, 11 kuormaa
Kuorman kokonaisajoaika ilman menetelmää	1:21:26	6:47:08	14:55:42
Kuorman kokonaisajoaika menetelmän kanssa	1:27:38	7:18:08	16:03:53

Taulukossa 17 esitetään näytteenottomenetelmän vaikutus latvusmassan metsäkuljetuksen kokonaisajanmenekkiin käyttäen laskuperusteena näytteenottomenetelmään kuuluvien työvaiheiden suorittamiseen kuluneita maksimiaiakoja. Latvusmassan metsäkuljetuksen kokonaisajanmenekki kasvaa näytteenottomenetelmän käytön myötä noin 7,6 prosenttia laskettuna työvaiheisiin kuluneiden maksimiaiikojen mukaan.

Taulukko 18. Näytteenottomenetelmän vaikutus latvusmassan metsäkuljetuksen kustannuksiin laskettuna 50 €/h käyttötuntikustannuksen mukaan

	Kustannukset (50 €/käyttötunti)		
	1 tunti, 2 kuormaa	1 työvuoro, 8 tuntia, 16 kuormaa	2 työvuoroa, 16 tuntia, 32 kuormaa
Metsäkuljetuksen kustannukset ilman menetelmää (€)	49,47	395,72	791,42
Metsäkuljetuksen kustannukset menetelmän kanssa (€)	59,93	479,39	958,79
Menetelmästä johtuva kustannusten kasvu (€)	10,46	83,68	167,35

Taulukossa 18 on esitetty näytteenottomenetelmän käytöstä seuraavat kustannukset laskettuna 50 €/h käyttötuntikustannuksen mukaan. Menetelmä lisää latvusmassan metsäkuljetuksen kustannuksia noin 5,23 €/kuorma. Prosentuaalisesti ilmaistuna kustannukset nousevat 21,1 prosenttia.

Taulukko 19. Näytteenottomenetelmän vaikutus latvusmassan metsäkuljetuksen kustannuksiin laskettuna 55 €/h käyttötuntikustannuksen mukaan

	Kustannukset (55 €/käyttötunti)		
	1 tunti, 2 kuormaa	1 työvuoro, 8 tuntia, 16 kuormaa	2 työvuoroa, 16 tuntia, 32 kuormaa
Metsäkuljetuksen kustannukset ilman menetelmää (€)	54,83	438,63	877,24
Metsäkuljetuksen kustannukset menetelmän kanssa (€)	66,42	531,37	1062,76
Menetelmästä johtuva kustannusten kasvu (€)	11,59	92,75	185,50

Taulukossa 19 on esitetty näytteenottomenetelmän käytöstä seuraavat kustannukset laskettuna 55 €/h käyttötuntikustannuksen mukaan. Menetelmä lisää latvusmassan metsäkuljetuksen kustannuksia noin 5,80 €/kuorma. Prosentuaalisesti ilmaistuna kustannukset nousevat 21,1 prosenttia.

Taulukko 20. Näytteenottomenetelmän vaikutus latvusmassan metsäkuljetuksen kustannuksiin laskettuna 60 €/h käyttötuntikustannuksen mukaan

	Kustannukset (60 €/käyttötunti)		
	1 tunti, 2 kuormaa	1 työvuoro, 8 tuntia, 16 kuormaa	2 työvuoroa, 16 tuntia, 32 kuormaa
Metsäkuljetuksen kustannukset ilman menetelmää (€)	59,60	476,77	953,52
Metsäkuljetuksen kustannukset menetelmän kanssa (€)	72,20	577,58	1155,17
Menetelmästä johtuva kustannusten kasvu (€)	12,60	100,82	201,63

Taulukossa 20 on esitetty näytteenottomenetelmän käytöstä seuraavat kustannukset laskettuna 60 €/h käyttötuntikustannuksen mukaan. Menetelmä lisää latvusmassan metsäkuljetuksen kustannuksia noin 6,30 €/kuorma. Prosentuaalisesti ilmaistuna kustannukset nousevat 21,1 prosenttia.

Taulukko 21. Näytteenottomenetelmästä aiheutuva kustannusten lisäys yhtä latvusmassan metsäkuljetuskuormaa kohti, kuljetettua kiintokuutiometriä kohti sekä kuljetettua energiasisältöä kohti. Kustannukset on laskettu käyttäen kolmea eri käyttötuntikustannusta.

Käyttötuntikustannus	Kustannusten lisäys		
	(€/kuorma)	(€/k-m ³)	(€/MWh)
50 €/h	5,23	0,79	0,40
55 €/h	5,80	0,89	0,44
60 €/h	6,30	0,96	0,48

Taulukossa 21 esitetään näytteenottomenetelmän käytöstä seuraavat kustannusten lisäykset yhtä latvusmassan metsäkuljetuskuormaa kohti, kuljetettua kiintokuutiometriä kohti sekä kuljetettua energiasisältöä kohti. Kustannukset on laskettu käyttäen kolmea eri käyttötuntikustannusta.

4 TULOSTEN TARKASTELU JA JOHTOPÄÄTÖKSET

4.1 Humimeter BLL -kosteusmittarin mittaustarkkuus kenttäolosuhteissa

Kosteusmittaustulosten tunnusluvut on esitetty taulukossa 1, 2 ja 3. Taulukon 1 mukaan Humimeter BLL -mittarilla mitatut kosteustulokset olivat keskimäärin 14,7 prosenttiyksikköä todellista kosteutta matalampia. Holopaisen ym. (2012) tutkimustulosten mukaan mittareilla mitatut kosteustulokset erosivat uunikuivausmenetelmällä määritetyistä tuloksista purunäytteiden osalta keskimäärin vain 0,1 prosenttia. Tämän tutkimuksen tulosten mukaan Humimeter BLL -mittarin tarkkuus oli merkittävästi huonompi verrattuna Holopaisen ym. (2012) tutkimustuloksiin. Kosteustulosten 14,7 prosenttiyksikön harha ylittää myös selvästi laitteen valmistajan ilmoittaman mittaustarkkuuden, joka on $\pm 2,5$ prosenttiyksikköä (Humimeter 2013). Mittarilla mitattujen ja uunikuivausmenetelmällä määritettyjen kosteustulosten keskihajonnat olivat melko lähellä toisiaan ja osoittavat mittarin mittaavan kosteutta johdonmukaisesti tuloksissa olevasta harhasta huolimatta (taulukko 1).

Tarkasteltaessa näytteiden todellisia kosteustasoja (kuva 8) huomataan, että yli 50 prosentissa aineiston näytteistä todellinen kosteus oli yli 50 prosenttia. Kun huomioidaan mittarin valmistajan ilmoittama mittarille sopiva kosteudenmittausalue (10 – 50 prosenttia) (Humimeter 2013), voidaan todeta tutkimuksen aineiston muodostavien näytteiden sijoittuvan aivan mittarille soveltuvan kosteusalueen yläpäähän ja suurin osa näytteistä oli mittarille ilmoitetun mitta-alueen yläpuolella. Uunikuivausmenetelmällä saatujen tulosten mukaan (kuva 14) vain kahden näytteen kosteus oli alle 35 prosenttia ja niiden ero mittarilla mitattuun kosteuteen oli pienin. Tämäkin osoittaa, että aineisto oli mittarin mitta-alueen ulkopuolella. Tutkimuksen aineisto oli pääosin liian kosteaa, eikä soveltunut mitattavaksi Humimeter BLL -kosteusmittarilla. Tämä lienee merkittävin syy mittarin kosteustulosten epätarkkuuteen.

Tutkimuksen aineisto oli kosteampaa kuin Holopaisen ym. (2012) tutkimuksessa käytetty kosteusaineisto. Holopaisen ym. tutkimuksessa uunikuivausmenetelmällä määritettyjen referenssinäytteiden kosteudet vaihtelivat välillä 17,2 – 50,1 prosenttia keskiarvokosteuden ollessa 34,1 prosenttia. Myös Fridh (2012) totesi tutkimuksessaan, että Humimeter BLL -mittari on tarkka 30 prosentin kosteuteen saakka, mutta tuon kosteuden yläpuolella poikkeamat kasvavat suuriksi. Fridh (2012) totesi myös, että mittari soveltuu kuivemmille materiaaleille hyvin, mutta ei puupoltoaineille, koska niiden kosteudet ovat usein yli 30 prosenttia. Myös Ho-

lopaisen ym. (2012) tutkimuksessa todettiin latvusmassasta ja karsitusta rangasta otettujen puru- ja hakenäytteiden kosteuden olevan yli 30 prosenttia. Korpilahti & Melkas (2010) toteivat puun sähköisiin ominaisuuksiin perustuvan kosteuden mittauksen tarkkuuden heikkenevän kosteuden kasvaessa. Tämän perustella on ilmeistä, että mitattujen näytteiden kosteuden sijoittuminen mittarille soveltuvan kosteusalueen ylärajalle ja sen yli, on vaikuttanut kosteuden mittauksen tarkkuuteen heikentävästi.

Kuvissa 14 ja 15 on esitetty näytteenottolaitteen säiliössä ja ämpärissä Humimeter BLL -mittarilla mitattujen kosteustulosten keskiarvot ja uunissa kuivattujen referenssinäytteiden kosteustulokset. Kuvien mukaan tuloksilla on selvä keskinäinen yhteys. Kosteustulosten välillä oleva yhteys todettiin myös tilastollisesti merkitseväksi korrelaatioanalyysin avulla (taulukko 4). On kuitenkin syytä huomioida, että korrelaatioanalyysin tulokset (taulukko 4) ovat yleistettävissä vain tämän tutkimuksen keruukohteiden (liitteet 1 ja 2) kanssa samanlaisilta kohteilta kerättyihin aineistoihin. Mittarin antamat tulokset ovat tämän perusteella johdonmukaisia, mutta kuten taulukossa 1 todettiin, keskimäärin noin 14,7 prosenttiyksikköä todellista kosteustasoa matalampia. Mittarin ja uunikuivausmenetelmällä saatujen tulosten välinen ero havaitaan myös kuvasta 16. Mittarin tarkkuus kaipaa parantamista, sillä nykyisellä tarkkuudella se ei sovellu tuoreen latvusmassan ja energiarangan kosteuden määrittämiseen ainakaan tämän tutkimuksen selvästi yli 30 prosentin kosteuden omaavan aineiston perusteella. Toisaalta mittariin ohjelmoidut kalibrointikäyrät on suunniteltu purua suuremman palakoon omaavalle hakkeelle, mikä osaltaan selittää heikkoa mittaustarkkuutta (Schaller GmbH 2010). Koska uunikuivausmenetelmällä määritettyjen kosteustulosten ja mittarilla mitattujen kosteustulosten välillä havaittiin tilastollisesti merkitsevä yhteys, on mahdollista, että oikeanlaisella kalibrointikäyrällä mittarin tarkkuutta voitaisiin parantaa.

Humimeter BLL -kosteusmittarin toiminta perustuu puun sähkövastuksen mittaamiseen. Nordberg (1999) on todennut, että sähkövastuksen mittaamiseen perustuvat mittarit eivät ole kovin tarkkoja, koska kosteus jakautuu epätasaisesti näytteessä ja sähkövastus määräytyy kuivemmassa kohdassa olevan elektrodin mukaan. Lisäksi lämpötila vaikuttaa merkittävästi puun sähkövastukseen, sillä lämpötilan noustessa puun sähkövastus laskee. Esimerkiksi tehtäessä sähkövastukseen perustuvia kosteusmittauksia 20 °C:sta poikkeavissa lämpötiloissa tarvittava lämpötilakorjaus on 0,1–0,15 prosenttiyksikköä Celsius-astetta kohden (Forsén & Tarvainen 2000). Kosteusmittauksia tehtäessä lämpötila vaihteli -2 °C:n ja +13 °C:n välillä ollen keski-

määrin +7 °C. Humimeterin (2013) ilmoituksen mukaan kosteudenmittaukseen soveltuva lämpötila on 0 - +40 °C, joten siltä osin mittaukset tehtiin sopivissa olosuhteissa.

Humimeter BLL -mittarilla näytteenottolaitteen säiliössä ja ämpärissä mitatut kosteustulokset olivat hyvin lähellä toisiaan ja erot ovat pieniä, joten mittausastialla ei havaittu olevan vaikutusta kosteusmittausten tuloksiin (kuvat 11, 12 ja 13). Säiliössä ja ämpärissä mitattujen kosteustulosten välinen yhteys todettiin myös tilastollisesti merkitseväksi (taulukko 4). Tulosten perusteella näytteiden kosteuden mittaus voidaan suorittaa näytteenottolaitteen säiliössä eikä ämpärissä tapahtuvaa mittausta tarvita.

Tarkasteltaessa näytteiden koostumuksen vaikutusta kosteusmittauksen tuloksiin Mann-Whitneyn U-testillä havaittiin, että koostumusluokkien 'puhdasta purua' ja 'purua, neulasia ja oksia' välillä ei ole kosteudessa tilastollisesti merkitsevää eroa (taulukko 6). Toisin sanoen sillä, koostuuko näyte puhtaasta purusta vai onko purun seassa myös neulasia ja oksia, ei ole vaikutusta mittarilla mitattuihin kosteustuloksiin. Tarkasteltaessa tilannetta koostumusluokkien 'puhdasta purua' ja 'purua, paljon neulasia ja oksia' välillä kosteudessa havaittiin tilastollisesti merkitsevä ero (taulukko 6). Suuri määrä purun seassa olevia neulasia ja oksia vaikuttaa kosteusmittauksen tuloksiin verrattuna tilanteeseen, jossa puru on puhdasta. Latvusmassanäytteet koostuvat usein purun lisäksi myös neulasista ja oksista, joten on suositeltavaa kiinnittää huomiota näytteen koostumukseen mittaria käytettäessä. Mittaamalla keskenään samankaltaisen koostumuksen omaavia näytteitä voidaan näytteen koostumuksen vaikutusta mittaustuloksiin vähentää. Kolmantena tarkasteltiin tilannetta koostumusluokkien 'purua, neulasia ja oksia' ja 'purua, paljon neulasia ja oksia' välillä (taulukko 6). 5 prosentin merkitsevyystasolla tilastollisesti merkitsevää eroa ei havaittu, mutta tarkasteltaessa tilannetta 10 prosentin merkitsevyystasolla luokkien välillä on tilastollisesti merkitsevä ero. Tämä vahvistaa päätelmää, jonka mukaan mittarilla mitattuun kosteustulokseen vaikuttaa neulasten ja oksien määrä näytteessä.

Tutkimuksessa tarkasteltiin kuivumisajan eli hakkuun päättymisen ja näytteenoton suorittamisen välisen aikavälin vaikutusta mittarilla mitattuihin kosteustuloksiin (taulukot 7 ja 8) ja pyrittiin selvittämään mahdollisia eroja kosteustuloksissa eri kuivumisaikojen välillä. Yhteenvedona voidaan todeta, että lukuun ottamatta kuivumisaikaparilla 1 vrk - 72 vrk tehtyä testiä (taulukko 8) kaikkien vertailuparien tulokset osoittavat, että kuivumisajalla on tilastollista merkitystä Humimeter BLL -mittarilla mitattuihin kosteustuloksiin. Myös kuivumisaikaparilla

1 vrk - 72 vrk tehdyssä testissä kuivumisaikojen välillä havaittiin olevan vaikutusta mittarilla mitattuihin kosteustuloksiin, kun tilannetta tarkasteltiin 10 prosentin merkitsevyytasolla. Tulosten perusteella voidaan päätellä, että kuivumisaika vaikuttaa Humimeter BLL -mittarilla mitattuihin kosteustuloksiin. On kuitenkin syytä huomioida, että kesä ja syksy 2012 olivat keskimääräistä sateisempia, jolloin latvusmassan ja energiarangan kuivuminen hakkuun jälkeen on voinut olla tavallista hitaampaa.

Näytteiden tilavuuden vaikutusta kosteusmittausten tuloksiin tarkasteltiin Mann-Whitneyn U-testillä (taulukko 10). Tulosten perusteella voidaan päätellä, että näytteen koon pitää olla vähintään 3,1 litraa, jotta näytteen tilavuus on riittävä. Saatuun tulokseen pitää kuitenkin suhtautua varauksella, sillä on mahdollista, että näytteiden kosteuden sijoittuminen mittarin toiminta-alueen ylärajalle ja sen yli, vaikuttaa saatuun tulokseen. Näytteen tilavuuden vaikutus kosteuden mittausten tuloksiin voi olla erilainen mittarin toiminta-alueen ylärajalla, kuin mitä se on mittarille paremmin soveltuvalla kosteusalueella. Laitteen valmistajan ilmoittama minimi näyteko, josta mittaus voidaan suorittaa, on 20 litraa (Schaller GmbH 2012). Mann-Whitneyn U-testin tulosten perusteella sillä, onko näytteiden tilavuus välillä 0 – 3,0 litraa vai välillä 3,1 – 6,0 litraa, ei ollut vaikutusta mittarilla mitattuun kosteustulokseen. Testin kyseiselle tilavuusluokkaparille antama p -arvo 0,172 ja valmistajan ilmoittama minimi näyteko viittaavat kuitenkin siihen, että näytekoon pitäisi olla suurempi kuin 3,0 litraa. Muissa tapauksissa, joissa tilavuusluokkaparien välillä ei havaittu olevan tilastollista vaikutusta kosteustuloksiin, p -arvot olivat huomattavasti suurempia (taulukko 10).

Näytteen tilavuus vaikutti mittarilla mitattuun kosteustulokseen (taulukko 10). Sen sijaan näytteen tilavuuden ja uunikuivausmenetelmällä määritetyn kosteuden välillä ei ollut tilastollista yhteyttä (taulukko 10). Tämä osoittaa, että uunikuivausmenetelmän tarkkuus ei ole riippuvainen näytekoosta, kun taas Humimeterin tulos saattaa olla. Kokoomanäytteiden tuloksia (taulukko 11) tarkasteltaessa huomataan, että mitä suurempi näyteko on, sitä lähempänä mittarin antama kosteustulos on uunimenetelmällä mitattua kosteusprosenttia, mutta ero on joka tapauksessa suuri. Tulosten keskihajonnat olivat melko lähellä toisiaan eikä näytteen tilavuuden muuttuminen juuri vaikuttanut keskihajontoihin. Humimeterillä mitattujen kosteustulosten aleneminen näytekoon pienentyessä saattaa johtua myös siitä, että mittaukset aloitettiin suurimmista näytteistä, joita pienennettiin välillä sekoittaen, kun siirryttiin mittaamaan pienempiä näytteitä. Esimerkiksi sekoitus näytekoon pienentämisen yhteydessä on saattanut lisätä kosteuden haihtumista.

4.2 Näytteenottomenetelmän ajanmenekki ja kustannusanalyysi

4.2.1 Ajanmenekki

Ajanmenekin tutkimiseen soveltuvia riittävän kattavia aikatietoja voitiin kerätä vain latvusmassan metsäkuljetuksen yhteydessä, joten laskelmissa ei ole mukana energiarangan metsäkuljetuksen aikatietoja. Energiarankakohteet olivat harvennushakkuukohteita, joilla kasvoi tiheähkö kuusen taimikko, mikä haittasi näkyvyyttä ja esti kuormauksen videoimisen. Tästä johtuen energiarankakohteiden aikatutkimusaineisto jäi puutteelliseksi ja näytteenottomenetelmän vaikutusta energiarangan metsäkuljetuksen ajanmenekkiin on tarkasteltu latvusmassakohteilta kerätyn aikatutkimusaineiston perusteella.

Näytteenottomenetelmään kuuluvien työvaiheiden latvusmassan metsäkuljetukseen tuomaa lisäajanmenekkiä tarkasteltiin taulukoissa 13 ja 14. Tulosten perusteella näytteenottosahauksiin kului aikaa keskimäärin noin puolitoista minuuttia jokaista metsäkuljetuskuormaa kohti. Purun kertymistä näytteenottolaitteen säiliöön kuvaavan taulukon 12 perusteella voidaan päätellä, että energiarankakohteilla saman näytemäärän tuottaviin sahauksiin kuluu aikaa vähemmän, koska energiarankaa sahattaessa purua kertyy kaksinkertainen määrä samalla sahausmäärällä verrattuna latvusmassan sahaukseen.

Näytteenottolaitteen purun kulkua säiliöön ohjaavan kourun tukkeutumien purkuun kului aikaa latvusmassakohteilla keskimäärin hieman yli kaksi minuuttia kuormaa kohti. Energiarankaa sahattaessa kouru ei tukkeutunut, joten tukosten purkuun ei kulunut aikaa energiarankakohteilla. Latvusmassasta kerätyissä purunäytteissä neulasten ja kuoren osuus materiaalista oli suuri verrattuna energiarangasta kerättyihin purunäytteisiin, jotka olivat koostumukseltaan melko puhdasta puupuraa. Riittävän kokoisen purunäytteen aikaansaaminen latvusmassaa sahaamalla on haasteellista, koska oksissa ja latvuksissa on vähän puuainesta verrattuna läpimitaltaan suurempaan pyöreään puuhun. Lisäksi latvusmassan rakenne on vaihtelevaa ja sen sisältämät oksat ja neulaset tukkivat helposti näytteenottolaitteen purusäiliöön johtavan kourun.

Näytteenottolaitetta kehitetään edelleen, joten tukkeutumaiset myös latvusmassaa sahattaessa todennäköisesti vähenevät jatkossa ja niiden purkuun kuluva aika pienenee. Mikäli kourun tukkeutumisten määrä vähenee kehitystyön myötä, on todennäköistä, että purun kulkeutumi-

nen säiliöön tehostuu. Tämä puolestaan vähentää tarvittavien sahausten määrää ja lyhentää näin myös sahaukseen kuluva aikaa. Kosteusmittausten suorittamiseen kului aikaa keskimäärin alle kolme minuuttia kuormaa kohti. Mittausten suorittaminen vie yhtä paljon aikaa sekä latvusmassan että energiarangan metsäkuljetuksen yhteydessä. Käytännön sovelluksessa mitausaikakin lyhenee merkittävästi, sillä mittauksista ei tarvitse tehdä viittä toistoa, kuten tämän tutkimuksen aineiston keruussa tehtiin.

Näytteenottomenetelmän käyttäminen lisäsi yhden latvusmassan metsäkuljetuskuorman kokonaisajanmenekkiä keskimäärin alle kuusi ja puoli minuuttia (taulukko 14). Pohdittaessa näytteenottomenetelmän vaikutusta energiarangan metsäkuljetuksen kannalta voidaan päätellä, että näytteenottomenetelmän energiarangan metsäkuljetuksen kokonaisajanmenekkiin tuoma lisäys on latvusmassaa pienempi. Päätelmää voidaan perustella sillä, että tukkeutumien poistoon kuluva aika jää käytännössä kokonaan pois ja sahauksiin kuluva aika todennäköisesti lyhenee, koska purun kertyminen sahausta kohti on kaksinkertainen. Lisäksi taulukoiden 2 ja 3 mukaan kosteustulosten keskihajonta on pienempi energiarankakohteilla kuin latvusmassakohteilla. Tämä tarkoittaa, että energiarankakohteilta tarvitsee kerätä vähemmän näytteitä kuin latvusmassakohteilta saman mittaustarkkuuden saavuttamiseksi.

4.2.2 Kustannusanalyysi

Näytteenottomenetelmän käyttäminen latvusmassan metsäkuljetuksen yhteydessä lisää kuljetuksen kokonaisajanmenekkiä keskimääräisten ajanmenekkitietojen mukaan laskettuna noin 21 prosenttia (taulukko 15). Näytteenottomenetelmän käytön vaikutusta latvusmassan metsäkuljetuksen kustannuksiin tarkasteltiin taulukoissa 18, 19 ja 20. Tarkasteltaessa metsäkuljetuskustannusten kasvua 50 euron käyttötuntikustannusten mukaan kustannukset nousivat kuormaa kohti 5,23 euroa (taulukko 18) ja kuljetettua kiintokuutiometriä kohti kustannukset lisääntyivät 0,79 euroa (taulukko 21). 55 euron ja 60 euron käyttötuntikustannusten mukaan laskettuna kustannukset nousevat kuormaa kohti 5,80 euroa ja 6,30 euroa (taulukot 19 ja 20). Prosentuaalisesti tarkasteltuna kustannukset nousevat noin 21 prosenttia.

Näytteenottomenetelmän käytöstä aiheutuvaan aikalisäykseen ja kustannusten kasvuun voidaan vaikuttaa menetelmän jatkokehityksen avulla. Parantamalla purun kulkeutumista säiliöön ja vähentämällä näin tukkeutumien syntyä, voidaan vähentää sekä tukosten purkamiseen kuluva aikaa että sahauksiin kuluva aikaa tarvittavien sahausten määrän pienentyessä. Kehi-

tystyön myötä näytteenottolaitteen toimivuutta voidaan tehostaa huomattavasti. Energiarangan metsäkuljetuksen kannalta katsottuna näytteenottosahauksiin kuluu vähemmän aikaa kuin latvusmassan sahauksessa, koska purua kertyy enemmän yhtä sahausta kohti. Lisäksi energiारankakohteilla kosteuden keskihajonta todettiin pienemmäksi (taulukot 2 ja 3), mikä mahdollistaa saman mittaustarkkuuden saavuttamisen pienemmällä näytemäärällä. Edellä mainitun lisäksi näytteenottolaite ei tukkeudu energiारankaa sahattaessa, mikä tarkoittaa merkittävää säästöä ajanmenekissä. Johtopäätöksenä voidaan todeta, että näytteenottomenetelmä soveltuu paremmin energiारangan kosteuden määrittämiseen, koska ajanmenekki ja kustannukset muodostuvat latvusmassan kosteudenmäärittämiseen nähden pienemmiksi.

4.3 Käytännön työohjeet menetelmän testikäytölle

Tutkimuksen tulosten perusteella laadittiin alustavat käytännön työohjeet tutkimuksen kohteena olleen latvusmassan ja energiारangan kosteuden määrittämiseen tarkoitettua näytteenottomenetelmän soveltamisesta käytännön metsäkuljetuksessa. Työohjeissa tavoitteena on mitatauseräkohtainen kosteus eli tarkoituksena on määrittää latvusmassa- ja energiारankaerien kosteudet esimerkiksi leimikkokohtaisesti. Tutkimuksen kosteusmittaukset tehtiin Humimeter BLL -kosteusmittarilla, jonka tarkkuus osoittautui riittämättömäksi latvusmassan ja energiारangan kosteuden määrittämiseen tämän tutkimuksen aineiston perusteella. Työohjeissa esitetyt näytemäärät ja näytteiden tilavuudet perustuvat tästä johtuen oletuksiin. Näytemäärien ja näytteiden tilavuuksien määrittelyssä käytettiin apuna taulukkoa 10, kuvaa 17 ja kaavaa 4. Tarvittavan näytteenottosahausten lukumäärän määrittämisessä hyödynnettiin taulukkoa 12.

Laadittu työohje on pätevä tämän tutkimuksen aineiston keruukohteiden kanssa samanlaisilla leimikoilla (liitteet 1 ja 2). Kattavan työohjeen laatiminen edellyttäisi uusien mittausten tekemistä erilaisilla leimikoilla ja suuren leimikkomäärän. Työohjetta voidaan täsmentää myös systemaattisella otannalla, jolla saataisiin mitatut näytteet tilastollisesti edustaviksi. Parhaimmassa tapauksessa aineiston näytteet edustaisivat koko Suomen energiapuuleimikoiden leimikkotunnuksia.

Taulukon 12 perusteella tavoiteltaessa esimerkiksi 13 litran näytekokoja latvusmassakohteilla tarvitaan noin 186 näytteenottosahausta ja vastaavasti energiारankakohteilla tarvitaan puolet vähemmän, eli noin 93 sahausta 13 litran näytekoon saavuttamiseksi. Kourataakoista tehtävien sahausten lukumäärä riippuu leimikolla olevan latvusmassan tai energiारangan määrästä.

Kohteilla, joilla on paljon latvusmassaa tai energiarankaa ei yhdestä kourataakasta tarvitse tehdä yhtä monta sahausta, kuin kohteilla joilla energiapuuta on vähän.

Tämän tutkimuksen aineistossa näytemäärältään suurimman (N = 50) latvusmassakohteen keskihajonta oli uunikuivausmenetelmällä määritettyjen kosteustulosten perusteella noin 5,8 prosenttiyksikköä ja vastaavasti näytemäärältään suurimman (N = 33) energiarankakohteen keskihajonta oli noin 1,6 prosenttiyksikköä. Tarvittava näytemäärä voidaan laskea kuvan 17 ja kaavan 4 avulla. Edellä mainittujen tämän tutkimuksen kosteustulosten keskihajontojen perusteella oletetaan, että latvusmassakohteen kosteuden keskihajonta on esimerkiksi 5,0 prosenttiyksikköä ja vastaavasti energiarankakohteen kosteuden keskihajonnan oletetaan olevan esimerkiksi 2,0 prosenttiyksikköä. Tavoitelluksi kosteuden mittauksen tarkkuudeksi valitaan molemmissa tapauksissa kosteustulosten keskivirhe 2,0 prosenttia. Kaavan 4 avulla voidaan laskea tarvittavat näytemäärät. Edellä mainituilla arvoilla laskettuna latvusmassakohteilta tarvitaan noin 6 näytettä, jotta haluttu tarkkuus täyttyy. Vastaavasti energiarankakohteilta tarvitaan 1 näyte, jotta päästään haluttuun mittaustarkkuuteen.

Tämän tutkimuksen aineistoon kuuluvilla latvusmassakohteilla kasoja oli leimikolla keskimäärin 165 kappaletta. Kourataakkoja tarvittiin latvusmassan kuormauksessa keskimäärin 353 leimikkoa kohti. Yhden aineiston keruupäivän aikana metsätraktorin kuljettaja kuormasi keskimäärin noin 200 taakkaa. Näiden tietojen perusteella voidaan laskea tarvittavien näytteenottosahausten lukumäärä jokaista kourataakkaa kohti. Latvusmassakohteilla kuuden 13 litran kokoisen näytteen kerääminen vaatii noin 3 sahausta jokaisesta taakasta. Sahausia tarvitaan yhteensä 1 116 kappaletta. Mikäli kaikki kuusi näytettä halutaan saada kerätyksi yhden 8 tuntisen työvuoron aikana, sahausia tarvitaan 5,6, eli noin 6 sahausta jokaista kourataakkaa kohti. Tämän tutkimuksen aineistoon kuuluvilla energiarankakohteilla näytteenottosahaukset tehtiin kuormien purkamisen yhteydessä. Kourataakkoja tarvittiin kuorman purkamissa keskimäärin 223 kappaletta leimikkoa kohti. Yhden aineiston keruupäivän aikana metsätraktorin kuljettaja purki kuormatilasta keskimäärin 112 kourataakkaa. Tietojen perusteella voidaan laskea tarvittavien näytteenottosahausten lukumäärä jokaista kourataakkaa kohti. Energiarankakohteilla yhden 13 litran kokoisen näytteen kerääminen vaatii noin 0,4 sahausta jokaisesta taakasta, eli käytännössä yhden sahauksen noin joka toisesta kourataakasta. Mikäli yksi näyte halutaan saada kerätyksi yhden 8 tuntisen työvuoron aikana, sahausia tarvitaan noin 0,8 taakkaa kohti, eli käytännössä kuljettaja tekee yhden sahauksen neljästä peräkkäisestä kourataakasta ja jättää sahauksen tekemättä joka viidennestä taakasta.

Seuraavat työohjeistukset perustuvat 13 litran näytetilavuuteen sekä kosteuden mittauksen keskihajonnan keskivirheenä ilmaistuun 2,0 prosentin tarkkuustavoitteeseen. Perustana ovat myös tämän tutkimuksen latvusmassakohteilta kerätyt keskiarvotiedot kuormauksessa tarvittavien kourataakkojen määrästä ja vastaavasti energiarankakohteilta kerätyt tiedot kuormien purkamiseen tarvittavien kourataakkojen määrästä. Oletuksena on, että kosteuden keskihajonta latvusmassakohteilla on 5,0 prosenttiyksikköä ja energiarankakohteilla 2,0 prosenttiyksikköä. Työohjeissa näytteiden keruu tapahtuu yhden 8 tunnin työvuoron aikana.

Työohje latvusmassan kosteuden määrittämiseksi metsäkuljetuksen yhteydessä:

- Tavoitteena on mittauseräkohtainen kosteus
- Metsätraktorin kuljettaja tekee 6 näytteenottosahausta jokaisesta kourataakasta kuormauksen yhteydessä (sahaus ulottuu kourataakan puoliväliin)
- Kuorman purku tapahtuu tavallisesti
- Näytteenottosahauksia jatketaan, kunnes näytteenottolaitteen säiliössä on 13 litraa purua, tämä vaatii noin 186 sahausta (kuormia voidaan ajaa useita ennen kuin tavoitteena oleva näytteen tilavuus saavutetaan)
- Kun 13 litran näytetilavuus saavutetaan, kuljettaja mittaa purunäytteen kosteuden näytteenottolaitteen säiliössä kannettavalla kosteusmittarilla ja tyhjentää säiliön
- Näytteenottosahauksia jatketaan, kunnes on saatu mitattua kosteus kuudesta 13 litran kokoisesta näytteestä

Työohje energiarangan kosteuden määrittämiseksi metsäkuljetuksen yhteydessä:

- Tavoitteena on mittauseräkohtainen kosteus
- Energiarangan kuormaus tapahtuu tavallisesti
- Metsätraktorin kuljettaja tekee yhden näytteenottosahauksen aina neljästä peräkkäisestä kourataakasta, minkä jälkeen yhdestä taakasta ei tehdä sahausta. Sahaukset suoritetaan kuorman purkamisen yhteydessä (sahaus ulottuu kourataakan puoliväliin)
- Näytteenottosahauksia jatketaan, kunnes näytteenottolaitteen säiliössä on 13 litraa purua, tämä vaatii noin 93 sahausta (kuormia voidaan ajaa useita ennen kuin haluttu näytteen tilavuus saavutetaan)

- Kun 13 litran näytetilavuus saavutetaan, kuljettaja mittaa purunäytteen kosteuden näytteenottolaitteen säiliössä kannettavalla kosteusmittarilla ja tyhjentää säiliön
- Näytteenottosahauksia jatketaan, kunnes on saatu mitattua kosteus yhdestä 13 litran kokoisesta näytteestä

4.4 Johtopäätökset

Tutkimuksessa tarkastellun Humimeter BLL -kosteusmittarin tarkkuus todettiin riittämättömäksi yli 30 prosentin kosteuden omaavan tuoreen latvusmassan ja energiarangan kosteuden määrittämiseen. Laite sinällään toimi teknisesti luotettavasti ja nopeasti, eikä toimintahäiriöitä tai muita ongelmia havaittu. Puutteeksi voidaan katsoa näytön ja käyttöpainikkeet sisältävän osan vesitiiviiden puuttuminen.

Näytteenottolaitteen toimivuus todettiin suhteellisen hyväksi jo nykyisessä kehitysvaiheeseen. Suurimpana ongelmana voidaan pitää purun kulkeutumista näytteenkeruusäiliöön latvusmassaa sahattaessa. Latvusmassassa olevat oksat, kävyt ja neulaset tukkivat näytteenottolaitteen purun kulkua säiliöön ohjaavan kourun helposti etenkin tuoreella latvusmassalla. Mikäli purun kulkeutumista säiliöön pystytään parantamaan, niin näytteenottomenetelmästä aiheutuva ajanmenekki pienenee tukosten purkamisen tarpeen vähentyessä. Purun kulkeutumisen tehostaminen vähentää tarvittavien sahausten määrää ja lyhentää näin myös sahauksiin kuluvaa aikaa. Samalla näytteenottomenetelmästä aiheutuvat kustannukset pienenevät. Näytteenottomenetelmän ajanmenekki pienenee myös kosteuden mittaukseen kuluvan ajan lyhentyessä, sillä käytännön sovelluksessa ei ole tarkoitus mitata kosteutta viidellä toistomittauksella, kuten tässä tutkimuksessa tehtiin. Lisäksi tulevaisuudessa kosteuden mittaukseen kuluva aika minimoituu, sillä suunnitelmissa on rakentaa kosteusmittari näytteenottolaitteen purusäiliön yhteyteen, jolloin purunäytteen kosteusarvo välittyy suoraan metsätraktorin tietojärjestelmään (Holopainen ym. 2012). Kosteudenmittauksen automatisoinnin lisäksi pitää kuitenkin ratkaista se, miten kuljettaja voi seurata näytteenottolaitteen säiliön täyttymistä ohjaamosta käsin, sekä se, että miten näytteenottolaitteen säiliö tyhjenetään ilman, että kuljettaja käy tyhjentämässä säiliön.

Tutkimuksen kohteena ollut näytteenottomenetelmä on potentiaalinen menetelmä energiapuun ja latvusmassan kosteuden mittaamiseen metsäkuljetuksen yhteydessä. Tämän tutkimuksen

tulosten perusteella menetelmä sopii latvusmassaa paremmin energiarangan kosteuden määrittämiseen. Menetelmän suurin ongelma on tämän tutkimuksen perusteella kosteuden mittauksen riittämätön tarkkuus. Jatkotutkimuksissa pitäisi löytää maasto-olosuhteisiin sopiva ja riittävän tarkka kosteusmittari, jolla purunäytteiden kosteudet voidaan määrittää luotettavasti. Mittarin mittausalueen pitäisi ulottua yli 50 prosentin kosteuksiin, jotta se soveltuu latvusmassan ja energiarangan kosteuden mittaukseen. Näytteenottolaitteen kehitystyössä huomiota tulee kiinnittää purun kulkeutumisen tehostamiseen, jotta menetelmän mukanaan tuomaa ajanmenekkiä, ja samalla myös kustannuksia voidaan pienentää. Menetelmän tulevaisuuden kannalta olennaisinta on kuitenkin löytää riittävän tarkka ja luotettava kosteusmittari, joka ratkaisee kosteuden mittauksessa ilmenneet ongelmat. Jatkotutkimuksissa voidaan tarkastella myös esimerkiksi teräketjuöljyn vaikutusta kosteuden mittauksen tuloksiin.

KIRJALLISUUS

Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettyjen polttoaineiden ominaisuuksia. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. VTT tiedotteita 2045. 172 s. + liitt. 17 s.

Bioenergian verkkopalvelu. 2012. Metsäenergia. [Verkkosivusto] Saatavissa: <http://www.bioenergiatieto.fi/default/www/etusivu/metsaenergia/> [Viitattu 25.2.2013]

Energiateollisuus. 2013. Metsäenergia. [Verkkosivusto] Saatavissa: <http://www.energia.fi/energia-ja-ymparisto/energialahteet/metsaenergia> [Viitattu 18.2.2013]

Forsén, H. & Tarvainen, V. 2000. Accuracy and functionality of hand held wood moisture content meters. VTT Publications 420. 79 s. + liitt. 17 s.

Fridh, L. 2012. Utvärdering av portabla fukthaltsmätare. Skogsforsk Arbetsrapport. Skogsforsk nr. 781-2012. 34 s.

Hakkila, P. 2006. Selvitys energiapuun mittauksen järjestämisestä ja kehittämisestä. Maa- ja metsätalousministeriö. Työryhmämuistio 2006: 8. 34 s. Saatavissa: http://wwwb.mmm.fi/julkaisut/tyoryhmamuistiot/2006/trm2006_8.pdf

Hallituksen esitys eduskunnalle laiksi puutavaranmittauksesta. 2012. Saatavissa: http://www.mmm.fi/attachments/metsat/6DW39IJTX/Hallituksen_esitys_eduskunnalle_laiksi_puutavaran_mittauksesta.pdf

Hallituksen esitys eduskunnalle laiksi puutavaranmittauslain muuttamisesta. 1996. HE 140/1996. Saatavissa: <http://www.edilex.fi/virallistieto/he/19960140>

Heikkilä, J., Laitila, J., Tantt, V., Lindblad, J., Siren, M., Asikainen, A., Pasanen, K. & Korhonen, K.T. 2005. Karsitun energiapuun korjuuvaihtoehdot ja kustannustekijät. Metlan työraportteja 10. 56 s. Saatavissa: <http://www.metla.eu/julkaisut/workingpapers/2005/mwp010.pdf>

Heikkilä, J., Lindblad, J., Hujo, S. & Verkasalo, E. 2004. Pienten kuitupuuerien mittaus puutavara-auton kuormainvaa'alla. Metsätieteen aikakauskirja 2004 (4): 527–540.

Holopainen, M., Lindblad, J. & Melkas, T. 2012. Energiapuun kosteuden määrittäminen metsäkuljetuksen yhteydessä. Metsäteho Oy:n, Metsäntutkimuslaitoksen ja Pohjois-Karjalan Ammattikorkeakoulun yhteishanke. Metsätehon tulosalvosarja. 24 s. [Verkkodokumentti] Saatavissa: http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Tulosalvosarja/Tulosalvosarja_2012_08_Energiapuun_kosteuden_maarittaminen_mh-jl-tm.pdf [Viitattu 26.4.2013]

Humimeter. 2013. Humimeter BLL -tuote-esittelysivu. [Verkkosivusto] Saatavissa: <http://www.humimeter.com/en/Climate-Environment/contShow-45.html> [Viitattu 16.4.2013]

Jahkonen, M., Lindblad, J., Sirkiä, S. & Lauren, A. 2012. Energiapuun kosteuden ennustaminen. Metlan työraportteja 241. 35 s. Saatavissa: <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2012/mwp241.pdf>

Jensen, P. D., Hartmann, H., Böhm, T., Temmerman, M., Rabier, F. & Morsing, M. 2006. Moisture content determination in solid biofuels by dielectric and NIR reflection methods. *Biomass & Bioenergy* 2006 (30): 935–943.

Järvinen, T. & Impola, R. 2012. Näytteenottostandardin soveltamisohje. Näytteenotto- ja -näytekäsittely-standardien (SFS-EN 14778: 2012 ja SFS-EN 14780: 2012) soveltamisohje metsäpolttoaineille Suomessa – Luonnon. VTT:n tutkimusraportti. VTT-R03522-12. 21 s. [Verkkodokumentti] Saatavissa: http://energia.fi/sites/default/files/cen_naytteenotto-ohje_070612.pdf [Viitattu 30.4.2013]

Järvinen, T., Siikanen, S., Tiitta, M. & Tomppo, L. 2008. Yhdistelmämittaus hakkeen kosteuden on-line -määrittämiseen. VTT:n tutkimusraportti. VTT-R-08121-08. 66 s. [Verkkodokumentti] Saatavissa: http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Erillisjulkaisut/Yhdistelmamittaus_hakkeen_kosteuden_on-line_maaritykseen_2008_VTT.pdf [Viitattu 30.4.2013]

Kansallinen metsäohjelma 2015. Lisää hyvinvointia monimuotoisista metsistä – Valtioneuvoston periaatepäätös. 2008. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 2008 (3). 45 s. Saatavissa: http://www.mmm.fi/attachments/metsat/kmo/5ywg0T9jr/3_2008FI_netti.pdf

Korpilahti, A. & Melkas, T. 2010. Kosteuden online-mittaus metsätähdehakkeesta. Metsätehon raportti 213. 21 s. Saatavissa: http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Raportti/Raportti_213_Kosteuden_online-mittaus_metsatahdehakkeesta_ak-tm.pdf [Viitattu 27.4.2013.]

Kärkkäinen, M. 2007. Puun rakenne ja ominaisuudet. Metsäkustannus Oy. Karisto Oy, Hämeenlinna. 468 s.

Laitila, J., Asikainen, A., Sikanen, L., Korhonen, K.T. & Nuutinen, Y. 2004. Pienpuuhakkeen tuotannon kustannustekijät ja toimituslogistiikka. Metlan työraportteja 3. 58 s. Saatavissa: <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2004/mwp003.pdf>

Lindblad, J. 2009. Energiapuun mittaus ja kosteus. Metsäenergiafoorumi 10.6.2009. Joensuu, Suomi. 17 s. [Verkkodokumentti] Saatavissa: www.forestenergy.org/openfile/41?PHPSESSID... [Viitattu 28.4.2013]

Lindblad, J., Äijälä, O. & Koistinen, A. 2010. Energiapuun mittaus. 31 s. Saatavissa: http://www.metla.fi/metinfo/tietopaketit/mittaus/aineistoja/energiapuun_mittausopas_EMT_hyvaksytty_27092010.pdf

Maa- ja metsätalousministeriö. 2013. Puutavaranmittauslain uudistaminen. [Verkkosivusto] Saatavissa: http://www.mmm.fi/fi/index/etusivu/metsat/hankkeet_tyoryhmat/puutavaranmittauslaki.html [Viitattu 22.2.2013]

Metsäntutkimuslaitos. 2008. Energiapuun mittauksen pelisäännöistä sovittiin. [Verkkodokumentti] Metsäntutkimuslaitoksen tiedote 19.2.2008. Saatavissa: <http://www.metla.fi/tiedotteet/2008/2008-02-19-energiapuunmittaus.htm>. [Viitattu 21.2.2012].

Metsäteho Oy. 2012. Energiapuun kosteuden määrittäminen metsäkuljetuksen yhteydessä. Metsätehon projekti 420. Projektikuvaus. [Verkkosivusto] Saatavissa: <http://www.metsateho.fi/toiminta/projekti?id=29555419> [Viitattu 26.4.2013]

Metsäteollisuus ry. 2006. Metsäteollisuus on bioenergian hyödyntämisen veturi. [Verkkosivusto] Saatavissa: <http://www.metsateollisuus.fi/juurinyt2/Tiedotteet/Sivut/energiaveturi.aspx> [Viitattu 14.1.2013]

Metsätilastollinen vuosikirja 2012. 2012. Metsäntutkimuslaitos. 452 s.

Mäkelä, M., Poikela, A. & Liikkanen, R. 2003. Energiapuun korjuu harvennusmetsistä. Metsätehon raportti 161. 32 s. Saatavissa: http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Raportti/Raportti_161.pdf

Nordberg, P. 1999. Electrical measurement of moisture content in porous building materials. 8th international conference on durability of building materials and components. May 30 – June 3, 1999. Vancouver, Canada. 10 s.

Nummenmaa, L. 2004. Käyttäytymistieteiden tilastolliset menetelmät. Tammi. Vammalan kirjapaino Oy, Vammala. 400 s.

Nyström, J. & Dahlquist, E. 2004. Methods for determination of moisture content in wood-chips for powerplants - a review. *Fuel* 2004 (83): 773–779.

Palander, T. 2001. A Model to estimate benefits from log drying for supply chains in wood procurement. Teoksessa: Sjöström, K. & Rask, L. (toim.). Supply chain management for paper and timber industries. Växjö University School of Industrial Engineering. *Timber Logistics* 2001: 117–131.

Pellervo. Osuustoiminnan palvelu- ja yhteistyöjärjestö. 2013. Osuuskuntarekisteri. [Verkkosivusto] Saatavissa: <http://osuuskuntarekisteri.pellervo.fi/> [Viitattu 13.4.2013]

Puupolttoaineiden laadunhallinta osana hankinnan ohjauksen ja varastojen hallinnan tietojärjestelmiä – LAAVA-hanke. 2011–2013. Itä-Suomen yliopisto. Mekrijärven tutkimusasema. [Verkkosivusto] Saatavissa: <http://mekri.uef.fi/laava/> [Viitattu 28.4.2013]

Puutavaranmittauslaki. 1991. Laki N:o 364/1991. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1991/19910364>

Rieppo, K. 2002. Hakkuutähteen metsäkuljetuksen ajanmenekki, tuottavuus ja kustannukset. Metsätehon raportti 136. 47 s. [Verkkodokumentti] Saatavissa: http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Raportti/Raportti_136.pdf [Viitattu 22.4.2013]

Samuelsson, R., Burvall, J. & Jirjis, R. 2006. Comparison of different methods for the determination of moisture content in biomass. *Biomass and Bioenergy* 2006 (30): 929–934.

Schaller GmbH. 2010. Käyttäjän ohjekirja. Humimeter BLL – Pistoanturilla varustettu kosteusmittari puuhakkeen kosteuspitoisuuden mittausta varten. Versio 1.5_fi. 12 s.

Schaller GmbH. 2012. Welcome to the world of Schaller. Moisture meters for cereals, food & biomass. Humimeter-tuotteiden tuote-esite. 6 s.

Suomen Metsäyhdistys. 2013. Metsäenergia. [Verkkosivusto] Saatavissa:

<http://www.forest.fi/smyforest/forest.nsf/allbyid/5A63243AD47290E6C22572C800475AB1?Opendocument> [Viitattu 15.1.2013]

Suomen standardisoimisliitto. 2010. Kiinteät biopolttoaineet. Kosteuspitoisuuden määrittäminen. Uunikuivausmenetelmä. Osa 2: Kokonaiskosteus. Yksinkertaistettu menetelmä. SFS-EN 14774-2:2010.

Tanttu, V., Ahtikoski, A. & Sirén, M. 2004. Korjuuvaihtoehtojen kannattavuus metsänomistajalle nuoren metsän harvennuksessa hankintakaupalla. Metsätieteen aikakauskirja 4/2004: 509–525. Saatavissa: <http://www.metla.fi/aikakauskirja/full/ff04/ff044509.pdf>

Tilastokeskus. 2012. Energian hankinta ja kulutus 2011. 9 s. [Verkkodokumentti] Saatavissa: http://www.stat.fi/til/ehk/2011/ehk_2011_2012-12-13_fi.pdf [Viitattu 19.2.2013]

Williamson, C. 2006. The Energy sector: A Hidden goliath. Teoksessa: Walker, J. Primary Wood Processing: Principles and Practice. 535–556 s.

LIITTEET**Liite 1. Latvusmassakohteiden perustiedot**

Kohde	Hakuun päätyminen	Aineiston keruu aika	Pinta-ala (ha)	Laskennallinen	Todellinen	Pääpuulaji
				kertymä (kiinto-m ³)	kertymä (kiinto-m ³)	
1	3.8.2012	3. - 9.10.2012	2,7	238	305,1	Kuusi
2	9.10.2012	10.10.2012	1,3	20	51,1	Koivu/Mänty
3	31.7.2012	11. - 12.10.2012	1,8	50	105,0	Kuusi/Mänty
4	1.8.2012	12.10.2012	0,3	20	22,2	Mänty/Kuusi
Yhteensä			6,1	328	483,4	

Liite 2. Energiarankakohteiden perustiedot

Kohde	Hakuun päätyminen	Aineiston keruu aika	Pinta-ala (ha)	Laskennallinen	Todellinen	Pääpuulaji
				kertymä (kiinto-m ³)	kertymä (kiinto-m ³)	
5	26.10.2012	29. - 31.10.2012	4,5	250	313,6	Koivu
6	31.10.2012	1.11.2012	0,7	-	53,3	Harmaaleppä
Yhteensä			5,2		366,9	