



**BMA-KOSTEUSANALYSAATTORIN
HYÖDYNNETTÄVYYS
BIOPOLTTOAINEJAKEIDEN JA HAKKEIDEN
KOSTEUSMÄÄRITYKSISSÄ**

Jani Hautakorpi

Opinnäytetyö
Kesäkuu 2013
Paperitekniiikan koulutusohjelma
International Pulp and Paper Technology
Tampereen ammattikorkeakoulu

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tampere University of Applied Sciences

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Paperitekniikan koulutusohjelma
Kansainvälinen paperi- ja sellutekniikka

HAUTAKOPRI, JANI: BMA-kosteusanalysointilaitteen hyödynnettävyys biopolttoainejakeiden ja hakkeiden kosteusmäärittämisessä

Opinnäytetyö 85 s., liitteet 12 s.
Kesäkuu 2013

Tämän opinnäytetyön lähtökohtana oli Oy Metsä-Botnia Ab:n mielenkiinto uutta BMA-kosteusanalysointilaitetta kohtaan. Tarkoituksena oli arvioida BMA-kosteusanalysointilaitteen hyödynnettävyyttä ja luotettavuutta biopolttoainejakeiden ja hakkeiden kosteusprosentin määrittämisessä. Analysoitavina biopolttoainejakeina käytettiin erikseen koivu- ja havukuorta sekä kuoren ja lietteen yhteisnäytettä. Analysointilaitteen hyödynnettävyyttä testattiin lisäksi turpeella. Sellutehtaalta puun kuorinnasta saatava kuori ja vedenpuhdistamolta tuleva liete myydään biopolttoainejakeena eteenpäin kuiva-aineen määrän mukaan, joten kosteusprosentin määrittäminen on tärkein tekijä kaupassa. Koivu- ja havuhakkeen kosteusprosentin määrittäminen on olennainen tekijä keiton neste-puusuhteen säädössä.

BMA-kosteusanalysointilaitteeseen hyödynnetään mikro- ja radioaaltotekniikkaa. Analysointilaitteella voidaan määrittää muutamassa sekunnissa periaatteessa kaikkien biomateriaalien kosteusprosentti tietyissä kostusrajoissa. Analysointilaitteen mittauskammio muodostaa onteloresonaattorin, jonka muuttuvataajuuksinen sähkökenttä antaa eri taajuuksia vedelle ja orgaaniselle materiaalille. Muuttuvista taajuuksista ja muutamasta muusta muuttujasta analysointilaitteeseen määrittää kosteusprosentin. BMA-kosteusanalysointilaitteeseen toimii yhdessä PC-käyttöliittymän kanssa. Referenssimenetelmänä BMA-menetelmälle käytettiin standardien mukaista uunikuivausmenetelmää.

Seurantatulokset osoittavat, että BMA-kosteusanalysointilaitteeseen voidaan hyödyntää parhaiten hakkeille. Kuorille ja turpeelle tulokset olivat vähän heikkommat. Kuoren ja lietteen yhteisnäytteelle analysointilaitteeseen ei antanut luotettavia tuloksia. Toistettavuusmittauksissa BMA-menetelmä osoittautui menetelmänä yhtä luotettavaksi referenssimenetelmän kanssa hakkeille ja turpeelle. Kuorille menetelmä oli luotettavuuden rajoilla. Yhteisnäytteille menetelmä ei ollut soveltuva.

Hyödynnettävyyden kannalta tulokset eivät olleet vielä kohdillaan, koska analysointilaitteen kalibrointisuorat vaativat viritystä kaikille näytetyypeille. Virituksen tarve johtui suurimmaksi osaksi näytetyyppien epähomogeenisuudesta ja valituista kalibrointipisteistä. Laboratorioanalysointilaitteeseen menetelmää voidaan käyttää hakkeille päivittäisiin mittauksiin, mutta kuorille ja turpeelle korkeintaan kuukausittaisen keskiarvojen mittaamiseen. Tulevaisuudessa menetelmä antaa parhaan hyödynnettävyyden on-lineanalysointilaitteella sekä keittoon menevälle hakkeelle että biopolttoainekaupassa kuorille.

Asiasanat: BMA, kosteusprosentti, kuiva-aine, biopolttoaine, analysointilaitteeseen

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Paper Technology
Option of International Pulp and Paper Technology

HAUTAKORPI JANI, Usability of the BMA Moisture Analyzer in Measuring Moisture Content of Biofuel Materials and Wood Chips

Bachelor's thesis 85 pages, appendices 12 pages
June 2013

This Bachelor's thesis was done for the needs of Oy Metsä-Botnia Ab. The objective of this thesis was to study the usability and reliability of a recently developed Biomass Moisture Analyzer. The analyzer was tested for measuring moisture content of barks, sludge, wood chips and peat. Oy Metsä-Botnia Ab was interested in the analyzer, because barks and sludge are sold forward according to the moisture content and because the moisture content of wood chips is an essential factor in controlling of liquor-to-wood ratio in cooking process.

The BMA moisture analyzer uses microwaves and radio waves. The analyzer defines the moisture content of biomaterials in a few seconds. A measuring chamber of the analyzer generates a cavity resonator, which electric field gives different frequencies for water and biomaterials. The moisture content is calculated from frequencies and some other variables. The analyzer works with PC user interface. The standard oven dry method was used as a reference method for the BMA method.

The results indicate that the BMA moisture analyzer can be used the best with wood chips. The results for barks and peat were barely in the limits of usability. The analyzer cannot measure the moisture content of bark with sludge. According to the repeatability results the BMA method was founded to be reliable the best for wood chips and peat. The BMA method was only just reliable enough for barks.

The results of usability were not as good as possible, because calibration curves of the analyzer need adjustment for every test materials. Adjusting is mostly needed because of non-homogeneous test materials and chosen measurements for calibration. As a laboratory analyzer this method can be used for accurate daily measurement of wood chips. For barks and peat it can be used at most for monthly averages. In the future the BMA method gives the best usability as an on-line analyzer both for wood chips and barks.

Key words: BMA, moisture content, dry solid content, biomaterial, analyzer

ALKUSANAT

Tämän opinnäytetyön kvantitatiivinen vaihe on tehty 1.4.2011–31.7.2011 välisenä aikana Oy Metsä-Botnia Ab Äänekosken tehtaalla ja saatettu julkaisukuntoon kesällä 2013. Metsä-Botniaa haluan kiittää tämän mielenkiintoisen työn tarjoamisesta. Erityisesti haluan kiittää Virpi Haarasta ystävällisyydestä, lukuisista hyvistä neuvoista ja vinkeistä sekä lisäksi ammattimaisesta ja asiantuntevasta opastuksesta.

Yhteistyö Senfit Oy:n kanssa toimi nopeasti, saumattomasti ja hyvässä yhteistyöhengessä. Mikko Vuolteenahon haluan kiittää kaikesta avusta laitteen kalibroinneissa sekä mittauksen sujuvasta etenemisestä aikataulujen mukaan.

Tampereen ammattikorkeakoulusta ohjaajana toimi DI Arto Nikkilä, jota haluan kiittää osallistumisesta ja mielenkiinnosta työtäni kohtaan.

Oman osansa isoista kiitoksista saa myös koko Äänekosken tehtaan henkilökunta. Työympäristö oli mielekäs sekä laboratoriossa että konttorissa. Apua sai aina kun sitä tarvitsi.

Tampereella

Jani Hautakorpi

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	7
2 TEORIA	9
2.1 Tehdasesittelyt	9
2.2 Tyypillisen sellutehtaan prosessikuvaukset	11
2.3 Neste-puusuuhde.....	15
2.4 Näytteenotto ja käsittely	16
2.5 Kosteuden määrittäminen uunikuivausmenetelmällä	17
2.6 BMA-kosteusanalysointimenetelmä	18
3 KOETULOSTEN TILASTOLLINEN ANALYYSI	21
3.1 Jakaumat	21
3.2 Keskiarvo, keskihajonta ja variaatiokerroin	22
3.3 Harha-arvojen hylkääminen.....	23
3.4 Ulkoinen tarkkuus ja sisäinen tarkkuus	24
3.5 Systemaattiset virheet ja satunnaisvirheet	25
3.6 Luottamusväli ja laajennettu epävarmuus	26
3.9 T-testi.....	28
3.10 Parittainen t-testi.....	30
3.11 F-testi	30
4 TYÖN SUORITUS	32
4.1 Kalibrointinäytteet	32
4.2 Kalibrointinäytteiden esikäsittely	33
4.3 Kalibrointinäytteiden kosteuden määrittäminen	36
4.4 Kalibrointisuora ja sen viritys.....	38
4.5 Toistettavuusmittaukset ja homogeenisoinnin merkitys	39
5 TULOKSET	40
5.1 Mittaukset BMA-kosteusanalysointimenetelmällä ja sen viritykseen.....	40
5.2 Mittaustulosten vertailu ja tilastollinen analyysi menetelmien välillä	42
5.2.1 Mittaustulokset koivuhakkeella.....	43
5.2.2 Mittaustulokset havuhakkeella	44
5.2.3 Mittaustulokset koivukuorella	46
5.2.4 Mittaustulokset havukuorella	48

5.2.5 Mittaustulokset homogenisoidulla yhteisnäytteellä.....	50
5.2.6 Mittaustulokset homogenisoimattomalla yhteisnäytteellä.....	52
5.2.7 Mittaustulokset turpeella	54
5.3 Toistettavuus.....	56
5.3.1 Toistettavuus koivuhakkeella	57
5.3.2 Toistettavuus havuhakkeella.....	58
5.3.3 Toistettavuus koivukuorella	60
5.3.4 Toistettavuus havukuorella.....	62
5.3.5 Toistettavuus homogenisoidulla yhteisnäytteellä	64
5.3.6 Toistettavuus homogenisoimattomalla yhteisnäytteellä.....	66
5.3.7 Toistettavuus turpeella.....	67
5.4 Homogenisoinnin merkitys mittaustuloksiin.....	69
5.4.1 Homogenisoinnin merkitys koivukuorella ja referenssimenetelmällä	69
5.4.2 Homogenisoinnin merkitys koivukuorella ja BMA-menetelmällä.....	71
5.4.3 Homogenisoinnin merkitys yhteisnäytteellä ja referenssimenetelmällä	73
5.4.4 Homogenisoinnin merkitys yhteisnäytteellä ja BMA-menetelmällä.....	75
6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA.....	78
7 JATKOTOIMENPITEET	82
LÄHTEET.....	84
LIITTEET	86

1 JOHDANTO

Oy Metsä-Botnia Ab on yksi maailman johtavista kemiallisen sellun valmistajista ja sen liikevaihto vuonna 2010 oli 1,4 miljardia euroa. Botnia valmistaa 2,4 miljoonaa tonnia valkaistua havu- ja koivusellua vuosittain. Vähän yli puolet Botnian valmistamasta sellusta menee sen osakkaille. Sellun käyttökohteena ovat hieno- ja aikakauslehtipaperi, pehmopaperi sekä taivekartonki. Botnian sellutehtaat ovat Suomessa ja ne sijaitsevat Joutsenossa, Kemissä, Raumalla ja Äänekoskella.

Äänekosken sellutehtaalla puunkäsittelystä saatava havu- ja lehtipuukuori yhdessä vedenkäsittelystä saatavan lietteen kanssa myydään Äänevoima Oy:lle. Äänevoima Oy sijaitsee samalla tehdasalueella Botnian Äänekosken tehtaan kanssa. Äänevoima Oy:llä nämä biopolttoainejakeet poltetaan energiaksi. Kuoren ja lietteen yhteisnäytteestä määritetään kuiva-aineprosentti, jonka perusteella lasketaan myytävän yhteisnäytteen hinta.

Senfit Oy on kehittänyt laboratoriossa kosteusprosentin mittaamiseen soveltuvan BMA-kosteusanalysointilaitteen (Biomaterial Moisture Analyzer). Analysointilaitella voidaan mitata muutamassa sekunnissa erilaisten biomateriaalien kosteusprosentti. Analysointilaitteeseen kuuluu yhdessä PC-käyttöliittymän kanssa.

BMA-kosteusanalysointilaitteeseen kuuluu mikro- ja radioaalto-tekniikkaa. Se muodostaa kammioon muuttuvataajuuksisen sähkökentän. Mittauskammio muodostaa onteloresonaattorin, joka antaa eri taajuuksia vedelle ja orgaaniselle materiaalille. Taajuuksista ja muutamasta muusta muuttujasta analysointilaitteeseen laskee kosteusprosentin.

BMA-kosteusanalysointilaitteella voidaan mitata monia erityyppisiä biomateriaaleja. Mitattaviksi näytetyypeiksi valittiin erikseen havu- ja lehtipuukuori ilman lietettä sekä yhteisnäyte, joka sisältää sekalaisen määrän kuorta ja lietettä. Näiden näytetyyppien lisäksi mitattiin Oy Metsä-Botnia Ab:lla keittoon menevää havu- ja koivuhaketta sekä Äänevoima Oy:llä polttoon menevää turvetta. Tämän opinnäytetyön rajaamiseksi näytetyyppejä ei voitu valita useampia.

Tämän työn yhtenä tavoitteena oli testata ja arvioida BMA-kosteusanalysoitsijan luotettavuutta ja käytettävyyttä biopoltoainekaupan kosteusprosenttien määrittämisessä eri näytetyypeillä. Tavoitteena oli myös arvioida BMA-kosteusanalysoitsijan luotettavuutta ja tarkkuutta keittoon menevän hakkeen kosteusprosenttien määrittämisessä. Hakkeen kosteusprosentti on tärkeä tekijä keiton neste-puusuhteen säädössä.

Jokaiselle näytetyypille tehtiin ensin kalibrointisuora, jota varten riittäväksi määräksi sovittiin 20 mittausta. Kalibrointiväliseksi sovittiin noin 15–20 %:n ero pienimmän ja suurimman kosteusprosentin välillä. Seuraavaksi aloitettiin seurantamittausten tekeminen kaikille näytetyypeille. Jokaisen näytetyypin kalibrointisuoraa viritettiin noin 20 seurantamittauksen jälkeen. Kalibrointisuoran viritämisen jälkeen aloitettiin varsinaiset seurantamittaukset. Luotettavuuden analysointiin tämän opinnäytetyön puitteissa sovittiin 20 mittauksen olevan riittävä määrä. Mittaukset tehtiin aina siten, että BMA-kosteusanalysoitsijalla saatuja kosteusprosentteja verrattiin standardien mukaiseen uunikuivausmenetelmään.

Varsinaisten seurantamittausten tarkoituksena oli arvioida niiden luotettavuutta tilastollisin menetelmin. Tilastollisina menetelminä käytettiin koetulosten tilastollisten käsittelyiden standardeja. Osana luotettavuuden arviointia tarkoituksena oli myös testata homogenisoinnin vaikutus kosteusprosentin määrittämisessä, sillä puhtaat kuorinäytteet homogenisoitiin aina ennen mittausten tekemistä. Yhteisnäytteet mitattiin sekä homogenisoituna että ilman homogenisointia. Tarkoituksena oli myös tehdä toistettavuusmittaukset jokaiselle näytetyypille. Hakkeita ja turvetta ei homogenisoitu, koska ne ovat jo itsessään melko homogeenisiä näytetyyppejä.

2 TEORIA

2.1 Tehdasesittelyt

Oy Metsä-Botnia Ab

Oy Metsä-Botnia Ab on yksi Euroopan ja koko maailman johtavista kemiallisen sellun valmistajista ja sen liikevaihto vuonna 2010 oli 1,4 miljardia euroa. Botnia valmistaa 2,4 miljoonaa tonnia valkaistua havu- ja koivusellua vuosittain. Botnia myy ja markkinoi vuosittain 3,7 miljoonaa sellutonna. Puolet myynnistä menee kansainvälisille markkinoille ja puolet omistajien tehtaalle. Sellun käyttökohteena ovat hieno- ja aikakauslehtipaperi, pehmopaperi sekä taivekartonki. Metsäliitto-konserni omistaa yli puolet Metsä-Botniasta ja muut osaomistajat ovat M-real (32 %) sekä UPM (11 %). Botnian sellutehtaat ovat tällä hetkellä kaikki Suomessa ja ne sijaitsevat Joutsenossa, Kemissä, Raumalla ja Äänekoskella. Henkilömäärä näissä tehtaissa on yhteensä noin 900. (Oy Metsä-Botnia Ab 2011(c), 2, 4.)

Oy Metsä-Botnia Ab Äänekosken tehdas

Äänekosken tehdas on kompaktisti rakennettu ja se edustaa parasta käytettävissä olevaa tekniikkaa. Äänekoskella tuotanto käynnistyi vuonna 1985. Äänekosken tehdas tuottaa EFC-valkaistua koivu- ja havusellua vähän yli 500 000 tonnin vuosikapasiteetilla. Äänekosken henkilöstömäärä on noin 160. Täydellä tuotantokapasiteetilla tehdas käyttää puuta 2,3 miljoonaa kuutiometriä vuosittain. Käytettävästä puusta vähän yli 20 % on havupuuta ja vähän alle 80 % lehtipuuta. Puu tuodaan tehtaalle pääosin rekka-autokuljetuksina (noin 70 %) ja junilla (noin 30 %). Puu toimitetaan Botnialle Metsäliiton toimesta, joka on sen suurin osaomistaja. (Oy Metsä-Botnia Ab 2011(b); Kautto 2011, 9–13, 21.)

Äänevoima Oy

Äänevoima Oy on vuonna 2002 toimintansa aloittanut biovoimalaitos. Se sijaitsee samassa tehdasintegraatiossa muun muassa Oy Metsä-Botnia Ab Äänekosken sellutehtaan kanssa. Äänevoima Oy:n omistajia ovat M-real (45 %), CP Kelco (20 %), Metsäliitto (20 %) ja Ääneseudun Energia (15 %). Biovoimalaitoksen tarkoituksena on vähentää öljyn käyttöä tehdasalueella ja tuottaa edullista energiaa sen osakkaille ja Äänekosken kaupungille. Äänevoima Oy tuottaa höyryä (900GWh/a), sähköä (150 GWh/a), prosessivettä ja kaukolämpöä (65 GWh/a). (Jantunen 2005, 1, 4–5; Vapoviesti 2011)

Äänevoima Oy:n leijukerroskattilassa poltetaan pääsääntöisesti Botnialta tulevaa kuoren ja lietteen yhteissekoitusta, puu- ja metsäjätettä sekä turvetta. Puu- ja metsäjäte sekä turve tuodaan noin sadan kilometrin säteeltä. Puu- ja metsäjätteen toimittaa pääsääntöisesti Metsäliitto ja turpeen Vapo. (Vapoviesti 2011)

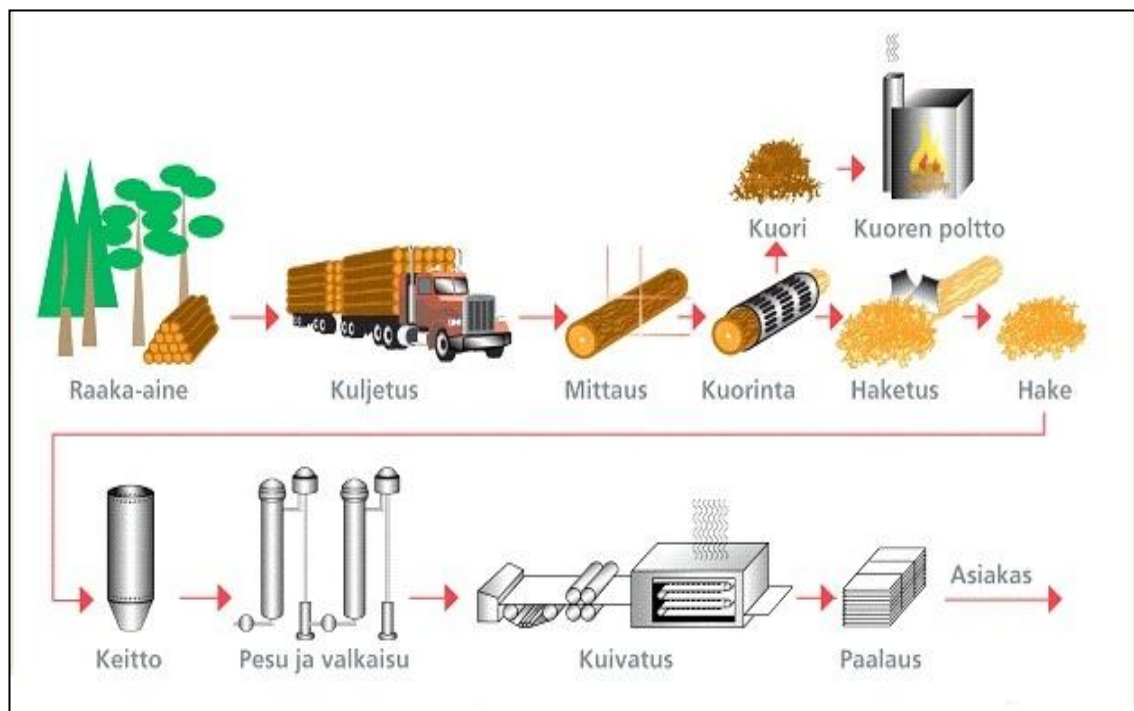
Senfit Oy

Senfit Oy (Sensors for Industry) on perustettu vuonna 2007 ja sen kotipaikkana toimii Kajaani. Senfit Oy:n toimialana on teollisuusinstrumenttien kehittäminen ja kauppa. Kehitystyö tapahtuu sen kehityslaboratorioissa Kajaanissa ja Oulussa. Laitteet valmistutetaan sen sopimusvalmistajilla. Senfit Oy on onnistunut jo pääsemään markkinoille kahden ison suomalaisen toimijan saattelemana ja sen tavoitteena on laajentaa toimintaa kansainvälisille markkinoille parin vuoden sisällä. (Saarela 2010, B1; Elektrobit Oyj 2011)

Senfit Oy valmistaa mikroaaltoteknologiaan perustuvia analysointilaitteita ja on-line-antureita. Laitteiden käyttökohteina ovat käytännössä kaikki biomateriaalit metsäteollisuudessa sekä useat käyttökohteet metalliteollisuudessa. BMA-kosteusanalysointilaitteita on heidän viimeisin innovaationsa ja se soveltuu parhaiten puu- ja turvepitoiselle materiaalille. Kosteusanalysointilaitteen rinnalle on kehitetty myös on-line-mittalaite. (Senfit Oy 2011; Elektrobit Oyj 2011)

2.2 Tyypillisen sellutehtaan prosessikuvaukset

BMA-kosteusanalysointorilla mitattavat näytteet ovat kuorta, lietettä, haketta ja turvetta. Turve tuodaan muualta eikä sitä erikseen käsitellä, joten se voidaan rajata prosessikuvausten ulkopuolelle. Liete tulee jäteveden puhdistamolta. Puu on kaikkien muiden näytetyyppien alkuperä, joten puun jalostus kuitupuusta kuoreksi ja hakkeeksi käydään tässä läpi prosessikuvausten avulla puun vastaanotosta keittoon saakka. Äänekosken sellutehtaan yksinkertaistettu koko prosessikaavio on esitetty kuviossa 1. Tarkemmat prosessikaaviot puusta hakkeeksi ja keittämön toiminnasta on esitetty liitteissä 1 ja 2.



KUVIO 1. Äänekosken tehtaan yksinkertaistettu prosessikaavio (Kautto 2011, 14, muokattu)

Puun vastaanotto

Äänekosken tehdas käyttää puuta vuosittain 2,3 miljoonaa kuutiometriä. Puun hankinta-alue ulottuu pääasiassa 100–200 kilometrin säteelle ja se hankitaan omistajayhtiö Metsäliitto Oy:n toimesta. Kuitupuusta vähän yli 20 % on havupuuta ja vähän alle 80 % on lehtipuuta. Havupuuta on pääosin mäntyä, mutta myös kuusta kuljetetaan jonkin

verran. Lehtipuusta valtaosa on koivua, mutta mukaan mahtuu myös pieni määrä haapaa. Kuitupuu kuljetetaan Äänekosken tehtaalle rekka-autokuljetuksina (70 %) ja junakuljetuksina (30 %). (Kautto 2011, 9, 10, 25.)

Puun varastointi

Tehtaalla puu varastoidaan puukentälle, joka on sijoitettu kuorimon läheisyyteen. Kuori irtoaa helpommin tuoreesta puusta, joten pitkää varastointiaikaa pyritään välttämään. Lisäksi pitkä varastointi aiheuttaa sienituhoja etenkin kesäaikaan. Sellupuut voidaan syöttää kuorimarummun lastausosalle sen mittaisena kuin ne tuodaan tehtaalle. (Seppälä ym. 2002, 21, 23; VTT 2009a.)

Puiden pesu ja sulatus

Puukentältä tai suoraan kuljetuksista puut nostetaan pyöräkoneilla kuorimarummun kuljettimen lastausosaan, jossa puita voidaan pestä pölyämisen estämiseksi ja roskien poistamiseksi. Lastausosalta puut siirretään ketjukuljetinta pitkin kohti kuorimarumpua. Ketjukuljetin asennetaan yleensä yläviistoon asentoon ja sen reunoilla olevilla vinoilla seinillä ohjataan puun kulkua. Ketjukuljettimelta irtoava roska, kuori ja muu materiaali kerätään talteen ja käsitellään erikseen. Talvella puiden kuori sulatetaan yleisimmin ketjukuljettimella eli niin sanotulla sulatuskuljettimella. Sulattamiseen ja lämmittämiseen käytetään yleensä lämmintä kiertovettä vettä, mutta on myös mahdollista käyttää matalapainehöyryä. (Seppälä ym. 2002, 23; VTT 2009b.)

Kuorinnan tehtävä

Kuorinnan tehtävänä on kuoria puu mahdollisimman tehokkaasti ja mahdollisimman pienin puuhäviöin. Erilaisia lopputuotteita ja massanvalmistusmenetelmiä varten puiden kuorimisen puhtausasteelle asetetaan erilaisia vaatimuksia. Esimerkiksi valkaistulle havusulfaatille sallittu kuorimäärä on 1,0–2,0 % ja koivusulfaatille noin 0,5 %. Kuorta on normaalisti havupuussa 12–15 % ja koivupuussa noin 15 %. Puut kuoritaan, koska kuori ei sisällä paljoa hyödyllistä kuitua. Lisäksi kuori aiheuttaa massan heikompaa vaaleutta, lujuuksien heikentymistä, roskaisuutta, uuteaineiden määrää ja kemikaalien lisääntyneitä kulutusta keitossa ja valkaisussa. (Seppälä ym. 2002, 24; VTT 2009c.)

Kuorimarumpu ja kuorinnan periaate

Puuta syötetään kuorimarumpuun koko ajan. Kuorimarumpu on teräksinen ja malliltaan päistään avonaisen lieriön muotoinen. Kuorimarummussa olevat teräksiset kuorimaraudat nostavat puuta ja pitävät puun liikkeessä koko ajan. Rummun päällä oleva huuva poistaa kuorinnasta aiheutuvaa pölyä imupuhaltimien avulla. Rummun päässä olevalla portilla voidaan säätää täyttöastetta. Kuorimarummussa puut hankaavat toisiaan ja rummun reunoja vasten. Näiden aiheuttaman mekaanisen paineen ja iskujen seurauksena kuoren ja puun välinen jälsikerros murtuu ja kuori irtoaa puusta. (Seppälä ym. 2002, 24–25; VTT 2009c.)

Kuorinnan tehokkuus riippuu siitä, miten kauan puut rummussa viipyvät. Valittuun viipymisaikaan puolestaan vaikuttavat esimerkiksi puulaji, puun pituus, puun halkaisija, puun tiheys ja tuoreus, rummun täyttöaste ja pyörimisnopeus, kallistuskulma ja kapasiteetti. Kuorimarummun halkaisija ja puiden pituus vaikuttavat siihen, miten puut rummussa kulkeutuvat. Liian suuri kuorimarummun nopeus voi aiheuttaa puun silppuuntumista ja kulkeutumista kuoren mukana, jolloin puun hävikki kasvaa. Optimitäyttö kuorimarummulle on noin 25–30 %. (Seppälä ym. 2002, 24–25; VTT 2009c.)

Kuorimarummussa kuorinta voidaan tehdä kuiva-, märkä- tai yhdistelmäkuorintana. Märkäkuorinnalla tarkoitetaan sitä, että märkäkuorinnassa rumpuun syötetään vettä ja yhdistelmäkuorinnassa alkupäähän syötetään vettä ja lopussa vettä ei enää syötetä vaan se toimii kuivakuorintana. Kuorinta suoritetaan kuitenkin kuivakuorintana aina kun mahdollista. (Seppälä ym. 2002, 24; VTT 2009c.)

Kuorimarummun rakenteeseen on tehty aukkoja, joista kuoret pääsevät poistumaan. Niiden standardileveys on 45 mm ja pituutta niillä on noin 500–600 mm. Aukkojen kautta poistuvat myös muut epäpuhtaudet, kuten hiekka ja kivet. Kuori ja muu rummusta poistuva materiaali kerätään ja siirretään rummun alla olevalla kuorenkeräyskuljettimella kuoren jatkokäsittelyyn. (Seppälä ym. 2002, 24; VTT 2009c.)

Hakun syöttölinja

Kuoritut puut menevät leveälle hakun syöttölinjalle, jossa niistä erotellaan loputkin kivet ja hiekka kiviloukuilla sekä pesemällä niitä esimerkiksi kiertovedellä tai tuorevettä. Mänty- ja kuusikuorta saattaa siirtyä kuorimarummusta kuljettimelle puiden mukana, koska kuori irtoaa isoina paloina, eikä kulkeudu niin helposti kuoriaukoista pienemmän kuoren mukana. Puun mukana kulkeutunutta kuorta varten käytetään erillistä kuorenerotusrullastoa, jonka avulla kuori saadaan eroteltua muusta puuvirrasta. Mahdolliset metalliset esineet, lyhyet puut ja ylisuuret puut voidaan myös erotella ennen hakkuriin menoa. Kuljettimella puiden vauhti kiihdytetään vastaamaan hakun syöttökuljettimen nopeutta ennen hakkuriin menoa. (Seppälä ym. 2002, 25; VTT 2009d.)

Kuoren keräily ja käsittely

Kuorta saadaan otettua siis talteen kuorimarummusta ja kuoren kuljettimilta, mutta myös puun vastaanotossa, varastoinnissa, siirtelyssä ja syöttövaiheessa tuleva kuori kerätään talteen. Märkäkuorinnasta tuleva märkä kuori ja vesi ohjataan saostuskuljettimelle, jossa ovat karkea- ja hienosaostimet. Saostimissa on reikämainen pohja, joten vesi valuu rei'istä vedenerotuskuljettimelle ja kiertovesijärjestelmään. Kuori jatkaa seuraavaan käsittelyvaiheeseen. (Seppälä ym. 2002, 27; VTT 2009e.)

Kuoren revintä ja puristus

Kuoret revitään tai murskataan, jotta kuoriaineksestä saataisiin jakeiltaan pienempää ja tasaisempaa. Ylipitkät kuoret eivät täten aiheuta ylimääräisiä tukoksia kuljettimilla. Pienempi kuoriaines antaa myös tasaisemman ja nopeamman puristustuloksen, koska vesi poistuu tehokkaammin pienestä ja tasaisesta jakeesta. Pienempää kuorijaetta on myös helpompi käsitellä jatkoprosesseissa ja sillä on paremmat palamisominaisuudet. Palamisominaisuudet ovat suoraan verrannollisia kuoren kuiva-ainepitoisuuteen, joten puristusvaiheessa pyritään poistamaan mahdollisimman paljon vettä kuoresta. Revinnän ja puristuksen jälkeen kuori ohjataan useimmiten polttoon yhdessä tai erikseen lietteen kanssa. (Seppälä ym. 2002, 27–29; VTT 2009e.)

Liete

Kuorimon jätevesi ohjautuu välivaiheiden kautta jäteveden puhdistamolle, jossa liete muodostuu. Liette sisältää pääosin jätevesistä erotettua kuitua, mutta yleensä myös joitain täyteaineita ja kemikaaleja. Lietteen pyritään tiivistämään ja puristamaan mahdollisuuksien mukaan, mutta siitä huolimatta kuiva-ainepitoisuus on melko alhainen, joten se sitä ei voida polttaa yksistään. Sen vuoksi liete voidaan sekoittaa esimerkiksi kuoriainekseen ja polttaa yhdessä sen kanssa. (Seppälä ym. 2002, 184–186; VTT 2009f.)

Haketus ja varastointi

Haketuksessa puut ohjataan hakkuun, jossa puu pilkkoutuu pieneksi jakeeksi. Hakkeen palakokoon voidaan vaikuttaa jonkin verran muutamilla hallittavissa olevilla muuttujilla. Muuttujia ovat esimerkiksi syöttökulma, terien lukumäärä ja sijoittelu, pyörimisnopeus sekä puun kosteus, koko ja lämpötila. Yleisin hakkutyyppe on kiekkohakku, jossa puu ohjataan viistossa asennossa hakkuun, yleensä noin 30–40 asteen kulmassa syöttötavasta riippuen. Hakussa oleva nopeasti pyörivä teräkiekko on yleensä valmistettu teräksestä ja voi olla halkaisijaltaan 1,7–3,5 m. Teräkiekossa teriä on 6–16 kappaletta. (Seppälä ym. 2002, 30–33; VTT 2009g.)

Haketuksen jälkeen hake menee seulonnan ja varastoinnin kautta keittoon. Seulonnan tarkoituksena on poistaa puru, tikkujae ja liian pieni hakkeen palakoko. Pieni ja tasainen hake on välttämätöntä, jotta keitosta saadaan paras lopputulos. Hake varastoidaan ulos isoiksi hakekasoiksi, joista se myöhemmin siirretään keittoon. (Seppälä ym. 2002, 34–36; VTT 2009g.)

2.3 Neste-puusuuhde

Keitossa hallittava neste-puusuuhde koostuu nestemäisen keittoliemen ja kuivan hakkeen suhteesta. Keitossa oleva neste puolestaan koostuu hakkeessa olevan veden määrästä, lauhteesta, musta- ja valkolipeästä. Neste-puusuuhde pyritään säätämään vakioiksi, joka vaihtelee keittotavan mukaan. Hakkeessa olevan veden määrä, kosteusprosentti, on

hankalin muuttuja, jos käytössä ei ole jatkuvatoimista kosteusmittausta tai välittömän mittaustuloksen antavaa kosteusanalysointia. Muutoin kosteusprosenttia joudutaan enemmän tai vähemmän arvailemaan viikoittaisten mittaustulosten lukumäärän ja lähipäivien mittauskeskiarvojen mukaan. (Rantanen 2011.)

Tarkalla ja reaaliaikaisella hakkeen kosteusprosentin määrittämisellä on merkittävä sekä taloudellinen että laadullinen vaikutus keittoprosessissa riippuen siitä oliko hakkeen kosteusprosentti arvioitu yli vai alle todellisen kosteusprosentin. Jos kosteusprosentti oli arvioitu liian pieneksi, saadaan taloudellinen hyöty siinä mielessä, että keitossa käytettäviä kemikaaleja ei käytetä yli tarvittavaa määrää, joten siinä saadaan säästöjä. Myös ruskean massan pesussa ei tarvita ylimääräisiä resursseja, kun keitossa kemikaalit hyödynnetään optimaalisesti. Jos kosteusprosentti arvioidaan liian suureksi, saadaan laadullinen etu siinä mielessä, että keittoon syötetään lisää kemikaaleja, jolloin saanto on parempi, massan laadusta saadaan tasaisempi ja lähemmäs haluttuja ominaisuuksia, jolloin se heijastuu suoraan lopputuotteeseen. (Rantanen 2011.)

2.4 Näytteenotto ja käsittely

Näytteenotolla on erittäin tärkeä osa tulosten luotettavuuden ja oikeellisuuden kannalta. Näytteet on otettava aina samalla tavalla ja samasta paikasta, jotta tuloksia voidaan vertailla keskenään sekä saman kosteusprosentin määrittämenetelmän sisällä että kahden eri menetelmän välillä. Botniassa tämän opinnäytetyön puitteissa näytteitä ottivat pääsääntöisesti prosessityöntekijät annettujen ohjeiden mukaisesti. Ohjeina näytteenotossa käytettiin FINBIO:n vuonna 1998 tekemää Puupolttoaineiden laatuohje -raporttia sekä Botniassa hyväksytyjä käytänteitä.

Paras näyte saataisiin koneellisesti, mutta Botniassa ei koneellista näytteenottoa ole, joten näytteet otettiin aina käsin. Edustavan näytteen aikaansaamiseksi näyte on otettava liikkuvasta, jatkuvasta ja putoavasta materiaaliavirrasta sekä koko materiaaliavirran leveydeltä keskiarvoperiaatteen mukaisesti, jotta koko näytetyyppi tulee kattavasti edustetuksi. Näyte on otettava aina samalla tavalla ja samasta paikasta, jotta lajittumista ei tapahdu. Näyte on myös otettava sellaisenaan kun se tulee eikä valikoitumista saa tapahtua näytteenottajan toimesta. Näytteenotossa on käytettävä joka kerta samoja

välineitä. Näytteenottokauhan suuaukon tulee olla halkaisijaltaan vähintään 100 mm, jos näytejake on alle 60 mm ja vähintään 300 mm, jos näytejake on yli 60 mm. (FINBIO 1998, 19–21.)

Näytteet on laitettava välittömästi ilmatiiviiseen muovipussiin tai vastaavaan ja merkittävä huolellisesti tiedot näytteestä. Näytteet on säilytettävä mahdollisuuksien mukaan viileässä tilassa. Jos pussin sisään pääsee muodostumaan kondensoitunutta kosteutta, on se sekoitettava näytteeseen ennen analysointia. Mahdollisesti jäätyneet näytteet sulatetaan huoneen lämpötilassa ennen kosteusmittauksia. Näytteet voidaan tarvittaessa murskata ennen analysointia, mutta Botnialla päivittäisiä rutiininäytteitä ei murskata. Näytteet tulee analysoida yhden vuorokauden sisällä näytteenotosta. (FINBIO 1998, 23–24.)

2.5 Kosteuden määrittäminen uunikuivausmenetelmällä

Referenssimenetelmänä kosteuspitoisuuden määrittämisessä käytettiin uunikuivausmenetelmää. Uunikuivausmenetelmällä saadaan luotettavin referenssitarkkuus näytteiden kosteuspitoisuuksia analysoidessa. Uunikuivausmenetelmällä ei saada täysin absoluuttista arvoa, mutta oikeissa olosuhteissa ja standardoituja ohjeita noudattamalla tulos saadaan riittävällä tarkkuudella. Uunikuivauksessa käytettiin Suomen Standardoimisliitto SFS:n julkaisemia standardeja, FINBIO:n ohjeita sekä Botnialla hyväksi todettuja käytänteitä. (SFS-EN 14774-1, 6; FINBIO 1998, 25.)

Kuivausuunissa on oltava jatkuvasti 105 ± 2 °C, joten uunia ei voi sammuttaa yön ajaksi ja ovien turhaa avaamista on vältettävä. Uunin ovien ollessa auki, kosteaa huoneilmaa pääsee uuniin ja sitä imeytyy näytteisiin. Uusia näytteitä ei saa lisätä uuniin edellisen kuivausjakson ollessa käynnissä, sillä uusista näytteistä haihtuu kosteutta nopeasti uunin kiertoilmaan ja siitä kosteus imeytyy kuiviin näytteisiin. Näytteitä on kuivattava vähintään 16 tuntia, mutta ei yli 24 tuntia, kun näytettä on enintään 30 mm paksuna kerroksena. Näytteitä liian kauan uunissa kuivattaessa niistä saattaa haihtua joitain yhdisteitä ja uuteaineita. Riittävä kuivausaika voidaan määrittää vakiopainoon punnitsemalla. Standardin mukaan vakiopainolla tarkoitetaan massan muuttumattomuutta yli 0,2 %, kun näytettä lämmitetään yksi lisätunti uunissa.

Ilmanvaihdon tulee olla riittävä. Standardin mukaisesti ilman olisi vaihdettava vähintään kolme kertaa tunnissa. Uunissa oleva ilmanvaihto ei kuitenkaan saa olla liian voimakas, että kuivattavia hiukkasia ei lähde kiertoilman mukaan. (SFS-EN 14774-1, 6, 8; FINBIO 1998, 25)

Astiana on hyvä käyttää esimerkiksi alumiinivuokaa tai muuta vastaavaa astiaa, joka kestää hyvin lämpöä ja syöpymistä. Astiasta ei saa haihtua eikä siihen saa imeytyä kosteutta tai muuta tulokseen vaikuttavaa tekijää. Astian pinnan olisi hyvä olla tasainen ja sileä sen vuoksi, että siihen ei tartu näytettä vaan että näyte irtoaa astian pinnalta nopeasti ja helposti. Astian on oltava kooltaan sillä tavalla riittävä, että yhteen astiaan mahtuu koko analysoitava näyte. Standardin mukaan näytettä olisi mahdollista suhteessa 1 g/cm^2 . (SFS-EN 14774-1, 6; FINBIO 1998, 25.)

Standardin mukaan riittävä tarkkuus vaa'alle on 0,1 g, kun näytettä on 300 g ja partikkelikoko korkeintaan 30 mm. FINBIO:n ohjeen mukaan punnitustarkkuuden ollessa 0,1 g, punnittavalle näytteelle riittävä määrä on 200–400 g. Hienojakeiselle näytteelle riittävä määrä on 200 g ja jos vaa'an punnitustarkkuus on 0,01 g, voidaan hienojakeisen näytteen määrää pienentää jopa 100 g:aan. Halutusta tarkkuudesta riippuen vaa'an olisi hyvä kestää kuumien näytteiden ja näyteastian punnitsemista, sillä näytteet on punnittava välittömästi uunista otettaessa. Kuumat näytteet ja astiat saattavat aiheuttaa pientä epätarkkuutta vaa'alle, joka voidaan välttää, jos käytetään lämmöneristävää materiaalia vaa'an ja astian välillä. Kuumat näytteet aiheuttavat myös nostetta pienentäen punnittavaa massaa. (SFS-EN 14774-1, 6, 8; FINBIO 1998, 25)

2.6 BMA-kosteusanalysointilaite

BMA-kosteusanalysointilaite on Senfit Oy:n kehittämä analysointilaite, jonka lyhenne BMA tulee sanoista Biomass Moisture Analyzer. Kosteusanalysointilaite on kooltaan W60*D60*H63 cm ja painaa 60 kg. Kosteusanalysointilaitella voidaan mitata biomateriaalien kosteusprosentteja, kun kosteuden vaihteluväli on 0–70 %. Analysointilaitella mitattava näytteen määrä on 400 g tai 500 g (± 5 g) analysointilaitteen kehitysversion mukaan. Senfit Oy:n ohjeen mukaan näytteen yksittäisjakeen maksimikoko on 31*31 mm ja se on valmistettava standardien mukaisesti ennen näytteen analysointia.

Laboratorioon sijoitettava kosteusanalyysointilaitteisto toimii luotettavasti, kun ympäristön lämpötila on 18–25 °C ja mitattavan näytteen lämpötila on sekä sisä- että ulkopuolelta 10–30 °C. Helppokäyttöinen PC-käyttöliittymä tallentaa tulokset ja se hyödyntää Microsoft Excel -ohjelmistoa. Käyttöliittymä voi olla irrallisena kannettavana tietokoneena tai vaihtoehtoisesti analyysointilaitteen etupaneeliin sisäänrakennettuna. Senfit Oy on kehittänyt myös on-lineanalyysointilaitteen kosteusprosenttien jatkuvatoimiseen mittaamiseen. (Senfit Oy 2011)

BMA-kosteusanalyysointilaitteen mittauskammio muodostaa onteloresonaattorin, jonka muuttuvataajuuksinen sähkökenttä antaa eri taajuuksia vedelle ja orgaaniselle materiaalille. Orgaanisen materiaalin värähtelytaajuuteen vaikuttavat materiaalin tiheys, rakenne, lämpötila ja käytettävä taajuus. Luonnossa esiintyvien biomateriaalien dielektriset ominaisuudet ovat yleensä eniten riippuvaisia niiden kosteudesta. Veden dielektrisistä ominaisuuksista vaikuttavat lämpötila ja vedenjohtavuus. (Nyfors & Vainikainen 1989, 41, 127; Vuolteenaho 2011)

Resonanssi-ilmiöllä tarkoitetaan energian värähtelyä sähköisen ja magneettisen muodon välillä. Resonaattorikenttä saadaan aikaan ulkoisen piirin avulla. Ulkoinen piiri voidaan kytkeä resonaattoriin esimerkiksi aukon, kytkentäsilman tai kytkentäsondin kautta. Aallot lähtevät kytkentälähteestä ja säteilevät resonaattoriin. Resonanssitaajuuteen vaikuttavat ulkoisen piirin kondensaattorin ja induktanssin suuruus. Ulkoisen piirin kondensaattorin varaus muodostaa sähkövirran. Sähkövirta aiheuttaa magneettikentän kelassa ja se puolestaan ylläpitää sähkövirtaa. Sähkövirran tarkoituksena on ladata kondensaattoria ja tämän seurauksena toistaa tapahtumaa uudelleen ja uudelleen. Resonanssitaajuus tarkoittaa yhden tällaisen tapahtumasarjan nopeutta. (Nyfors & Vainikainen 1989, 127; Nyfors 2000, 23.)

BMA-kosteusanalyysointilaitteen toiminta perustuu onteloresonaattoriin. Onteloresonaattori on tehty tyhjästä aaltoputkesta. Tyhjän aaltoputken tarkoitus on kuljettaa sähkömagneettisia aaltoja. Aaltoputken eli niin sanotun siirtojohtoon päät on suljettu metalliverkoilla tai -levyillä, jotka aiheuttavat impedanssin epäjatkuvuuden. Sähkömagneettiset aallot kulkevat aaltoputkessa, jonka pinnat heijastavat aaltoja. Aallot muodostavat seisovan aallon, jossa energia värähtelee. Näytteen dielektriset ominaisuudet yhdessä onteloresonaattorin rakenteen kanssa vaikuttavat aallonpituuteen

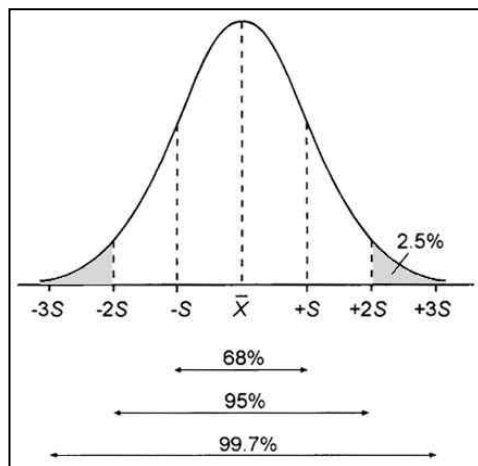
ja resonanssitaajuuteen. Resonanssitaajuuksia on useita ja sen vuoksi muiden aaltomuotojen aiheuttamat häiriöt on otettava huomioon. Häiriöt otetaan parhaiten huomioon anturin ja sen kytkennän suunnittelussa. Dielektrisellä materiaalilla tämä ei aiheuta ongelmia, koska resonanssitaajuudet muuttuvat aina samalla tavalla, jos materiaalin permittiivisyys ei ole taajuusriippuvainen. (Nyfors 2000, 23; Nyfors & Vainikainen 1989, 150; Vuolteenaho 2011.)

3 KOETULOSTEN TILASTOLLINEN ANALYYSI

Tilastollisia menetelmiä käytetään mittaustulosten analysointiin, kun halutaan arvioida saatuja mittaustuloksia täysin objektiivisesti. Tilastollisilla menetelmillä voidaan määrittää mittaustulosten merkitsevyytensä tiettyjen todennäköisyyksien avulla. Merkitsevyytensä tarkoittaa sitä, että johtuuko tulos sattumasta vai ei. Merkitsevyytensä todennäköisyyden symbolina käytetään yleisimmin kirjainta p , jolla tarkoitetaan tuloksen johtumista sattumasta. Vastaavasti $(1 - p)$ arvoa käytetään, kun tulos ei johdu sattumasta. Yleisimmin merkitsevyytensä testeissä käytetään $p < 0,05$ todennäköisyyttä. (Scan-G 2:07 2007, 1, 3.)

3.1 Jakaumat

Saadut mittaustulokset muodostavat perusjoukon. Perusjoukossa olevien mittaustulosten eri arvojen esiintymiskerrat voidaan laskea yhteen ja niitä kutsutaan frekvensseiksi. Eri frekvenssijakaumat puolestaan muodostavat frekvenssikäyrän, joka on oletukseltaan todennäköisyyskäyrän mukainen. Todennäköisyyskäyrällä ilmaistaan frekvenssien todennäköisistä esiintymistä perusjoukossa ja se muodostuu siis oletetuista perusjoukon frekvensseistä. Todennäköisyyskäyrän todetaan usein olevan normaalijakauman (kuvio 2) mukainen, etenkin mittausten lukumäärän kasvaessa. Tätä kutsutaan myös Gaussin kellokäyräksi. (Scan-G 2:07 2007, 3; Miller & Miller 1993, 35–39; Tiede 2011.)



KUVIO 2. Normaalijakauma, jossa on esitetty keskiarvo ja hajonnat. (Tiede 2011)

3.2 Keskiarvo, keskihajonta ja variaatiokerroin

Jakauman keskikohdan sijaintia varten tarvitaan keskiarvon laskeminen. Aritmeettinen keskiarvo, tai yleisemmin vain keskiarvo, määritetään laskemalla mittaustulosten summa ja jakamalla se sitten mittausten lukumäärällä yhtälön (1) mukaisesti. Keskiarvo määritetään yleensä symbolilla \bar{x} , kuten myös kuvioista 2 voidaan nähdä. Keskiarvo voitaisiin laskea myös mediaanina, mutta tässä opinnäytetyössä oletuksena on, että mittaustulokset ovat normaalisti jakautuneita eikä kuvaaja siten oleteta olevan erityisen vino. (Scan-G 2:07 2007, 4; Miller & Miller 1993, 33.)

$$\bar{x} = \frac{(x_1 + x_2 + \dots + x_n)}{n} = \frac{\sum x}{n} \quad (1)$$

x_i on yksittäinen mittaustulos

\bar{x} on mittaustulosten keskiarvo

n on mittausten lukumäärä

Keskiarvon lisäksi toinen oleellinen jakauman mitta on hajonta. Hajonnalla määritetään se, miten paljon yksittäiset mittaustulokset ovat hajaantuneet keskiarvon molemmille puolille. Hajontaa määritettäessä täytyy muistaa, että hajonta kertoo ainoastaan hajonnan mitan keskiarvon suhteen. Se ei kerro sitä, miten yksittäiset mittaustulokset jakautuneet. Kuvioista 2 nähdään, miten yhden, kahden ja kolmen hajonnan etäisyydet ja niiden todennäköisyydet muuttuvat keskiarvoon nähden. Näistä käytetään myös yleisesti nimitystä yhden, kahden ja kolmen sigman rajat. (Scan-G 2:07 2007, 4, 5; Miller & Miller 1993, 33–36.)

Standardipoikkeaman eli hajonnan symbolina käytetään yleisesti kirjainta s , joka on varianssin (s^2) neliöjuuri. Varianssi on yksittäisten mittaustulosten ja keskiarvon erotuksen neliöiden summa jaettuna tekijällä $(n - 1)$ ja hajonta on siis varianssin neliöjuuri yhtälön (2) mukaisesti. Tekijään $(n - 1)$ on päädytty tekijän n sijasta, koska yksistään tekijä n saattaa antaa vääristyneen arvon, jos mittausten lukumäärä on pieni. Tilastollisia ohjelmia käytettäessä on syytä varmistua siitä, että käytetäänkö kaavassa tekijää n vai $(n - 1)$. (Scan-G 2:07 2007, 4, 5; Miller & Miller 1993, 33–36.)

Keskihajonnan avulla voidaan myös arvioida ja verrata kahden eri menetelmän luotettavuutta. Tämä tehdään toistettavuusmittauksilla. Samasta lähdemateriaalista tehdään ensin mittaukset luotettavammalla menetelmällä ja lasketaan keskihajonta. Keskihajonta antaa vaihteluvälin luotettavammalle mittaustavalle (referenssi-menetelmälle), jota sitten verrataan tarkasteltavan menetelmän keskihajontaan. Menetelmiä voidaan pitää yhtä luotettavina, jos keskihajonnat ovat riittävän lähellä toisiaan. (Haaranen 2011)

$$s = \sqrt{\frac{\sum(x-\bar{x})^2}{n-1}} \quad (2)$$

s on standardipoikkeama eli hajonta

x on yksittäinen mittaustulos

\bar{x} on mittaustulosten keskiarvo

n on mittausten lukumäärä

Suhteellisella standardipoikkeamalla tarkoitetaan standardipoikkeaman ja keskiarvon suhdetta yhtälön (3) mukaisesti. Siitä käytetään nimitystä variaatiokerroin, josta käytetään lyhennystä *CoV* tai *CV*. Variaatiokerroin voidaan ilmoittaa joskus puhtaana lukuarvona, mutta yleisemmin se ilmoitetaan prosentteina. (Scan-G 2:07 2007, 5; Miller & Miller 1993, 3.)

$$CoV = \frac{s}{\bar{x}} * 100 \% \quad (3)$$

CoV on variaatiokerroin

s on hajonta

\bar{x} on mittaustulosten keskiarvo

3.3 Harha-arvojen hylkääminen

Mittaustuloksia voidaan myös hylätä tilastollisina harha-arvoina. Harha-arvojen tunnistamiseen ja hylkäämiseen on monia erilaisia menetelmiä ja yksi niistä niin sanottu

Grubbsin testi. Biomateriaalien kosteusprosentteja määritettäessä näytteet saattavat sisältää suurtakin luonnollista vaihtelua, joten yksittäisiä mittaustuloksia ei pitäisi hylätä, jos ei voida olla täysin varmoja todellisen virheen tapahtumisesta. Hylkäämättömänä yksittäinen mittaustulokse saattaa aiheuttaa suurta virhettä keskiarvoon ja muihin tilastollisiin menetelmiin. Grubbsin testiä voidaan käyttää vain kerran yhtä perusjoukkoa kohti. (Scan-G 2:07 2007, 5.)

Grubbsin arvo saadaan yksittäisen mittaustuloksen ja keskiarvon erotuksen itseisarvon ja hajonnan osamääränä yhtälön (4) mukaisesti. Laskettua Grubbsin arvoa verrataan erillisestä taulukosta (liite 3) saatavaan arvoon, jossa on huomioitu mittausten lukumäärä. Kriittisenä arvona pidetään $p < 0,01$. Jos Grubbsin arvo on suurempi, kuin taulukosta saatava arvo, voidaan yksittäinen mittaustulos hylätä harha-arvona. (Scan-G 2:07 2007, 5.)

$$G = \frac{|x_i - \bar{x}|}{s} \quad (4)$$

G on Grubbsin arvo

x_i on yksittäinen mittaustulos

\bar{x} on mittaustulosten keskiarvo

s on mittaustulosten hajonta

3.4 Ulkoinen tarkkuus ja sisäinen tarkkuus

Tilastollisissa menetelmissä tulokset voidaan ilmoittaa ulkoisena tarkkuutena tai sisäisenä tarkkuutena. Ulkoisella tarkkuudella tarkoitetaan tuloksen oikeellisuutta. Siinä verrataan tuloksen oikeellisuutta oikeaan arvoon. Sisäinen tarkkuus puolestaan kertoo miten paljon tulokset ovat hajallaan keskiarvosta. Sisäisessä tarkkuudessa tulos kerrotaan luottamusrajoina tai keskiarvon epävarmuutena. Molemmat tarkkuudet voidaan ilmoittaa joko absoluuttisina tai suhteellisina arvoina. Absoluuttinen ja suhteellinen arvo on aina syytä ilmoittaa, jos tulos on määritetty prosenttilukuina. (Scan-G 2:07 2007, 6.)

3.5 Systemaattiset virheet ja satunnaisvirheet

Mittaustuloksissa esiintyvät virheet voidaan jakaa systemaattisiin virheisiin ja satunnaisvirheisiin. Systemaattinen virhe on säännöllinen ja se vaikuttaa menetelmän ja mittaustulosten ulkoiseen tarkkuuteen. Systemaattisen virheen alkuperää voi olla usein vaikea määrittää. Se voi johtua esimerkiksi mittalaitteen toimintaperiaatteesta tai riittämättömästä kalibroinnista. Systemaattista virheen suuruutta voidaan kuitenkin arvioida vertaamalla mitattua tulosta oikeaan, luotettavalla menetelmällä saatuun arvoon. Mittalaitteen kalibrointia voidaan yleensä virittää vakiotermiä korjaamalla, jos kalibrointisuora on lineaarinen. (Scan-G 2:07 2007, 6.)

Satunnaisvirhe vaikuttaa menetelmän sisäiseen tarkkuuteen. Satunnaisvirhe saadaan määritettyä parhaiten toistettavuustestillä ja se ilmoitetaan yleensä hajontana. Satunnaisvirheet eivät ole varsia virheitä vaan ne ovat satunnaisia ja ne johtuvat yleensä materiaalin luonnollisesta vaihtelusta. Mittaustulokset vaihtelevat tietyn hajonnan sisällä, normaalijakauman mukaisesti, jos mitattava materiaali on riittävän homogeeninen. Tällöin satunnaisvirhe johtuu mittalaitteesta tai käytettävästä menetelmästä. (Scan-G 2:07 2007, 6.)

Jos mittaukset tehdään eri näytekappaleista tai yksittäinen näytekappale ei ole riittävän homogeeninen, ei mittausvirhe johdu yksistään menetelmästä ja mittalaitteesta. Joskus on hankalaa määrittää, kummastako virheestä satunnaisvirhe johtuu. Biomateriaalien yhteydessä materiaalin vaihtelu voi olla aivan erilainen verrattaessa esimerkiksi kuorta ja haketta. (Scan-G 2:07 2007, 6.)

Systemaattisen virheen olemassaolo voidaan määrittää tilastollisesti. Se määritetään laskemalla t -arvo ja vertaamalla sitä taulukosta (liite 4) saatavaan arvoon. Jos taulukkoarvo on isompi kuin laskettu t -arvo, tarkoittaa se sitä, että systemaattista virhettä ei esiinny. T -arvoa laskettaessa on tiedettävä todellinen arvo μ eli se mihin verrataan, mittauksista saatava keskiarvo \bar{x} ja keskihajonta s sekä mittauksen lukumäärä n yhtälön (5) mukaisesti. Taulukkoa (liite 4) tulkitaan käyttämällä vapausasteena f arvoa $(n - 1)$. Merkitsevyystasona käytetään yleisimmin 5 % merkitsevyystasoa. (Miller & Miller 1993, 53–54.)

$$t = (\bar{x} - \mu) * \frac{\sqrt{n}}{s} \quad (5)$$

t on t-arvo

\bar{x} on mittaustulosten keskiarvo

μ on todellinen arvo (esimerkiksi standardimenetelmällä saatu arvo)

n on mittausten lukumäärä

s on mittaustulosten standardipoikkeama

3.6 Luottamusväli ja laajennettu epävarmuus

Luottamusvälillä määritetään mittaustulosten epävarmuus. Epävarmuutta määritetään arvolla $(100 - p) \%$, joka tarkoittaa merkitsevyysastetta. Epävarmuuden määrittämiseksi määritetään luottamusrajat, joiden väliin jäävää aluetta kutsutaan luottamusväliksi. Luottamusväli voidaan määrittellä halutun tarkkuuden mukaan. Merkitsevyystasoina käytetään yleisimmin 5 %, 1 % ja 0,1 % tarkkuuksia. Merkitsevyystaso voidaan siis valita halutun tarkkuuden mukaan, mutta yleisimmin tilastollisissa menetelmissä käytetään 5 % merkitsevyystasoa. Luottamusrajoja määritettäessä täytyy muistaa, että oletuksena on, että systemaattista virhettä ei esiinny. Luottamusväli ja merkitsevyystaso liittyvät siis olennaisesti toisiinsa eikä kummankaan laskennallista tulosta ole hyödyllistä ilmoittaa yksinään. (Scan-G 2:07 2007, 6, 7; Miller & Miller 1993, 41; Tiede 2011.)

Mittaustulosten yhteydessä halutaan usein ilmoittaa mittaustulosten laajennettu epävarmuus U ja keskiarvoon liittyvä standardipoikkeama s_m . Keskiarvon yhteydessä laajennetulla epävarmuudella tarkoitetaan samaa asiaa kuin luottamusrajalla. Tässä tapauksessa $(100 - p) \%$ luottamusrajat keskiarvolle voidaan laskea, kun tiedossa on normaalijakaumaan liittyvä arvo t_p , joka saadaan taulukosta (liite 4) sekä perusjoukosta laskettu keskiarvo \bar{x} ja hajonta s yhtälön (6) mukaisesti. Taulukosta (liite 4) saatava t_p -arvo riippuu halutusta merkitsevyystasosta p ja mittaustulosten lukumäärästä n . Sen avulla määritetään todennäköisyys sille, että onko todellinen arvo annettujen arvojen sisällä. Vapausasteella f tarkoitetaan mittaustulosten lukumäärää vähennettynä yhdellä. (Scan-G 2:07 2007, 6, 7; Miller & Miller 1993, 40–41.)

$$U = \pm \frac{t_p * s}{\sqrt{n}} \quad (6)$$

U on laajennettu epävarmuus / luottamusraja (keskiarvon yhteydessä)

t_p on taulukosta saatava t-arvo (liite 4)

n on mittausten lukumäärä

s on hajonta

Keskiarvoon liittyvästä standardipoikkeamasta käytetään myös usein nimitystä keskiarvon keskivirhe. Sillä tarkoitetaan standardipoikkeaman ja mittausten lukumäärän neliön suhdetta yhtälön (7) mukaisesti. Keskiarvon keskivirheellä tarkoitetaan siis sitä, että jos suoritettaisiin uusintamittaukset samasta lähdemateriaalista, uusi keskiarvo tulisi olemaan 68 % todennäköisyydellä keskiarvon keskivirheen sisällä ensimmäisestä keskiarvomittauksesta. Laajennettua epävarmuutta käytetään keskiarvon keskivirheen sijasta silloin kun halutaan isompi luotettavuus keskiarvon virheelle. (Scan-G 2:07 2007, 6, 7; Miller & Miller 1993, 40–41.)

$$s_m = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (7)$$

s_m on keskiarvoon liittyvä standardipoikkeama

n on mittausten lukumäärä

s on hajonta

3.7 Toistettavuusrajat ja uusittavuusrajat

Mittaustuloksille määritetään usein myös toistettavuus- ja uusittavuusrajat. Toistettavuudella määritetään toisistaan riippumattomien mittaustulosten yhteensopivuutta toistettavissa olosuhteissa. Toistettavuusolosuhteet määritellään siten, että mittaukset tehdään joka kerta samasta lähdemateriaalista, samalla menetelmällä, samoilla mittalaitteilla, samassa laboratorioissa, saman tekijän toimesta ja lyhyen ajan sisällä. Uusittavuusrajoilla tarkoitetaan eri laboratorioissa tehtyjen mittausten yhteensopivuutta. (Scan-G 2:07 2007, 8–9.)

Toistettavuusrajoista käytetään merkintää Δ . Rajat voidaan määrittää tilastollisesti laajennetun epävarmuuden avulla yhtälön (8) mukaisesti. Toistettavuusrajoilla määritetään kahden näytteen välinen suurin odotettavissa oleva keskiarvon ero, kun näytteet otetaan samasta perusjoukosta. Yhtälöä (8) voidaan käyttää myös siinä tapauksessa, että halutaan tietää kahdella eri menetelmällä samasta materiaalista tehtyjen eroarvojen keskiarvon suurin odotettavissa oleva ero. Yhtälössä (8) käytetään kokonaisstandardipoikkeamaa, mutta tämän opinnäytetyön puitteissa vaihtelulähteenä pidetään ainoastaan lähdemateriaalia. (Scan-G 2:07 2007, 8–9.)

$$\Delta = \frac{\sqrt{2} * t_p * s}{\sqrt{n}} \quad (8)$$

Δ on suurin odotettavissa oleva ero (keskiarvon yhteydessä)

t_p on taulukosta saatava t-arvo (liite 4)

n on mittausten lukumäärä

s on kokonaisstandardipoikkeama

3.9 T-testi

T-testi on yksi yleisimmin käytössä oleva tilastollinen menetelmä, kun halutaan verrata kahta eri mittausmenetelmällä saatua keskiarvoa keskenään. Tällöin arvioidaan sitä, että millä todennäköisyydellä kahdella eri mittausmenetelmällä saadut keskiarvot ovat lähtöisin samasta perusjoukosta eli arvioidaan onko keskiarvojen välillä tilastollisesti liian suurta vaihtelua. T-testi voi olla yksi- tai kaksisuuntainen. Yksisuuntaisella tarkoitetaan sitä, että esimerkiksi standardimenetelmään verrattavat mittaustulokset ovat varmuudella kaikki joko suurempia tai pienempiä kuin standardimenetelmällä saatavat tulokset. Kaksisuuntaista t-testiä käytetään, kun vertailutulokset saattavat olla joko suurempia tai pienempiä standardimenetelmään verrattuna. Kaksisuuntainen t-testi on huomattavasti yleisempi. (Scan-G 2:07 2007, 8; Miller & Miller 1993, 59–60.)

T-testiä varten halutaan tietää kahdella eri menetelmällä saatujen mittaustulosten keskiarvot \bar{x}_1 ja \bar{x}_2 sekä mittausten lukumäärät n_1 ja n_2 . Lisäksi halutaan tietää molempien perusjoukkojen hajonnat s_1 ja s_2 . Molemmille perusjoukolle voidaan

määrittää yhdistetty standardipoikkeama s yhtälön (9) mukaisesti, jos oletetaan molempien perusjoukkojen hajontojen olevan lähellä toisiaan. Keskiarvojen, mittaustenlukumäärien ja standardipoikkeaman avulla määritetään t -arvo yhtälön (10) mukaisesti. Saatua t -arvoa verrataan sitten taulukosta (liite 4) saatavaan t_p -arvoon. Taulukkoa luettaessa käytetään haluttua merkitsevyytensä p ja vapausasteiden f lukumäärää yhtälön (11) mukaisesti. (Scan-G 2:07 2007, 7, 8.)

Kahden perusjoukon keskiarvojen välillä on tilastollisesti merkitsevä ero, jos laskettu t -arvo on suurempi kuin taulukosta (liite 4) saatava t_p -arvo. Tällöin keskiarvot eivät ole riittävän lähellä toisiaan. On kuitenkin muistettava, että t -testillä ei voida osoittaa kahden keskiarvon olevan samasta perusjoukosta. T -testillä voidaan osoittaa ainoastaan, että keskiarvot ovat eri perusjoukoista. (Scan-G 2:07 2007, 7, 8.)

$$s = \sqrt{\frac{\sum(x_1 - \bar{x}_1)^2 + \sum(x_2 - \bar{x}_2)^2}{n_1 + n_2 - 2}} \quad (9)$$

s on yhdistetty standardipoikkeama

x_1 ja x_2 ovat kahden eri menetelmän yksittäiset mittaustulokset

\bar{x}_1 ja \bar{x}_2 ovat kahden eri menetelmän keskiarvot

n_1 ja n_2 ovat kahden eri menetelmän mittausten lukumäärät

$$t = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{s \cdot \sqrt{\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}} \quad (10)$$

t on t -arvo, jota verrataan taulukkoarvoon (liite 4)

s on yhdistetty standardipoikkeama

\bar{x}_1 ja \bar{x}_2 ovat kahden eri menetelmän keskiarvot

n_1 ja n_2 ovat kahden eri menetelmän mittausten lukumäärät

$$f = n_1 + n_2 - 2 \quad (11)$$

f on vapausaste

n_1 ja n_2 ovat kahden eri menetelmän mittausten lukumäärät

3.10 Parittainen t-testi

Parittaista t-testiä käytetään silloin, kun yhdestä näytteestä voidaan määrittää vain yksi tulos kahdella eri menetelmällä. Tällöin menetelmien vertailuun käytetään useita näytteitä, jotka on otettu eri aikoina, eri paikoista ja ne ovat odotettavasti laadullisesti toisistaan poikkeavia. Mittausten pitkä aikaväli saattaa myös olla vaikuttava tekijä, sillä olosuhteet, kuten lämpötila ja kosteus mahdollisesti vaikuttavat eri mittausten vertailuun. (Miller & Miller 1993, 58–59.)

Parittaista t-testiä varten muodostetaan ensin kahdella eri menetelmällä saatujen parittaisten vertailutulosten eroarvo. Näille eroarvoille lasketaan keskiarvo \bar{x}_d ja keskihajonta s_d . Vertailtavana arvona eli todellisena arvona käytetään tässä luonnollisesti $\mu_d = 0$, koska halutaan tietää onko vertailutulosten eroarvoilla merkitsevää eroa nolosta yhtälön (12) mukaisesti. Vapausasteena taulukkoa (liite 4) luettaessa käytetään arvoa $(n - 1)$. Jos taulukosta saatava arvo on suurempi kuin laskettu t -arvo, ei menetelmien välillä ole merkitsevää eroa. (Miller & Miller 1993, 58–59.)

$$t = \bar{x}_d * \frac{\sqrt{n}}{s_d} \quad (12)$$

t on t-arvo

\bar{x}_d parittaisten mittaustulosten eroarvojen keskiarvo

s_d parittaisten mittaustulosten eroarvojen keskihajonta

n on mittausparien lukumäärä

3.11 F-testi

F-testiä voidaan käyttää ennen t-testin tekemistä, jos halutaan varmistua, että kahden menetelmän keskihajonnat eivät poikkea toisistaan tilastollisessa mielessä. T-testissä edellytetään hajontojen olevan lähellä toisiaan. T-testiä varten tehdyssä f-testissä suositellaan käytettäväksi kaksisuuntaista testiä. F-testi määritetään kahden eri menetelmän keskihajontojen neliöiden (varianssien) osamääränä yhtälön (13) mukaisesti. F-testin tulos on aina ≥ 1 . Keskihajonnat eivät poikkea tilastollisesti, jos

taulukosta saatu arvo on isompi kuin laskettu f-arvo. Taulukkoa (liite 5) luettaessa vapausasteena käytetään arvoa $(n - 1)$. Yleisimmin käytetään 5 % merkitsevyystasoa. (Miller & Miller 1993, 60–62, 223.)

$$F = \frac{s_1^2}{s_2^2} \quad (13)$$

F on f-arvo

s_1 ja s_2 ovat kahden eri mittaustulosten keskihajonnat

4 TYÖN SUORITUS

Botnialla on jo vuosia kiinnitetty suurta huomiota biopolttoainejakeiden luotettavaan kosteuden määrittämiseen. Tämän kehitystyön seurauksena Botnialle on laadittu oma laatuohje, joka on ollut käytössä vuodesta 2005 lähtien ja sitä on tarkennettu vuosien 2006–2008 aikana. Yhdessä Botnian oman laatuohjeen ja yleisesti hyväksytyjen standardien (luvut 2.4 ja 2.5) mukaisesti tehdyt kosteuden määritykset antavat asiakkaiden luottamuksen käytössä oleviin mittausmenetelmiin. (Minna Nyman 2010, 2, 11)

4.1 Kalibrointinäytteet

Kalibrointinäytteet (kuva 1) otettiin Botnian laatuohjeiden ja FINBIO:n standardien mukaisesti. Puhtaat kuorinäytteet sekä kuorta ja lietettä sisältävät yhteisnäytteet otettiin kuorimon käyttömiesten toimesta heidän ottamien päivittäisten näytteiden ohessa. Haketta käytiin hakemassa valvomon toimesta ja välillä itsenäisesti, kun lisänäytteitä tarvittiin. Näytteet otettiin aina putoavasta materiaaliavirrasta (kuva 1). Turvenäytteet toimitettiin Äänevoima Oy:ltä. Ensimmäistä kalibrointia varten näytettä tarvittiin noin 15–20 kg jokaista näytetyyppiä kohti.



KUVA 1. Haketta otettiin putoavasta materiaaliavirrasta

4.2 Kalibrointinäytteiden esikäsittely

Näytetyypeistä puhtaat koivu- ja havukuoret sekä yhteisnäyte homogenisoitiin oksahakkurilla (kuva 2) ennen näytteiden käsittelyä. Oksahakkurina käytettiin Viking GE 260 S -mallia. Homogenisointi tehtiin, koska laitetoimittaja näki sen välttämättömänä. Homogenisoinnin tarve voidaan nähdä kuvasta 3, sillä kuorinäytteiden mukana tulee joskus isojakin puupaloja. Homogenisoinnissa näytetyypit syötettiin oksahakkurin läpi, jolloin isoimmat jakeet murskaantuivat ja mahdollisia kosteuseroja näytteen sisällä saatiin tasoitettua sekoittamalla näytettä. BMA-kosteusanalysaattorin toimivuutta testattiin myös homogenisoimattomalla yhteisnäytteellä.



KUVA 2. Oksahakkuri (Oksahakkuri 2011)



KUVA 3. Homogenisointia vaativa kuorinäyte alumiinivuoassa, jonka mitat noin 50 * 30 * 7 cm

Kalibroitua varten jokaista näytetyyppiä tarvittiin vähintään 20 kappaletta, mutta luotettavamman kalibroitisuoran saamiseksi näytteitä haluttiin lähemmäs 30 kappaletta. Rajoittavaksi tekijäksi todettiin kuivausuunin (kuva 4) koko. Kuivausuunina käytettiin EHRET TKL 4878 -mallia. Kuivausuunin lämpötilaksi oli asetettu standardin mukainen 105 ± 2 °C. Kuivausuunissa voitiin kuivata enintään vähän yli 30 näytettä kerrallaan. Kalibroitisuorasta saadaan sitä edustavampi mitä laajempi näytteiden kosteusväli on. Lisäksi näytteiden kosteusprosenttien haluttiin sijoittuvan tasaisesti koko kalibroitivälille. Näiden tekijöiden vuoksi näytteitä käsiteltiin keinotekoisesti, jotta edustava kalibroitiväli saatiin aikaiseksi.



KUVA 4. Kuivausuuni, jossa vähän yli 30 kalibrointinäytteitä kuivamassa.

Ensimmäisenä käsiteltiin koivu- ja havuhakkeet, joiden alkuperäinen kosteusprosentti oli jo valmiiksi alhainen, joten riittävää kalibrointiväliä ei olisi saatu aikaiseksi. Sen vuoksi näytteiden kosteutta yritettiin lisätä siten, että osa näytteistä suljettiin pakastepusseihin yhdessä tietyn vesimäärän kanssa ja annettiin imeytyä muutaman päivän ennen mittausten tekoa. Vesimäärä laskettiin siten, että jos kaikki vesi olisi imeytynyt ihanteellisesti, olisi kosteusprosentti muuttunut jokaista näytettä kohti hallitusti ja vaihteluväli kalibrointisuoraa varten olisi saatu riittäväksi. Tämä menetelmä hylättiin kuitenkin melko nopeasti, sillä veden todettiin imeytyvän huonosti ja sen todettiin aiheuttavan virhettä BMA- kosteusanalysointilaitteilla.

Kalibrointinäytteiden kosteuden vähentämiseksi näytteet käsiteltiin siten, että yksittäiset näytteet laitettiin kuivausuuniin eripituisiksi ajanjaksoiksi. Tämän seurauksena näytteistä saatiin haihdutettua vettä pois ja siten näytteiden kosteusprosenttia saatiin

pienennettyä. Eri näytetyyppien todettiin kuivavan epälineaarisesti, joten jokaiselle näytetyypille pyrittiin tekemään omat kuivaussuunnitelmat ja -mittaukset, jota seurattiin ja tarvittaessa muutettiin olosuhteiden muuttuessa. Lyhimmillään näytteitä pidettiin kuivausuunissa vain muutamia minuutteja ja enimmillään joitain näytetyyppejä jouduttiin pitämään kuivausuunissa jopa muutamia tunteja. Kosteuden haihduttamisen jälkeen näytteet otettiin pois kuivausuunista ja laitettiin pakastepusseihin. Näytteiden lämpötilan annettiin tasaantua huoneenlämmössä muutamasta tunnista yhteen vuorokauteen.

4.3 Kalibrointinäytteiden kosteuden määrittäminen

Kosteuden määrittäykset tehtiin yleensä heti sen jälkeen, kun näytteet olivat tasaantuneet huoneenlämpöön kuivausuunista poisottamisen jälkeen. Näytettä sekoitettiin pakastepussissa, jotta pussin reunoihin kondensoitunut vesi saatiin mukaan mittauksiin. BMA-kosteusanalysointilaitteen tarjotin asetettiin vaa'alle (kuva 5) ja vaaka taarattiin. Punnituksiin käytettiin elektronista tarkkuusvaa'aa, joka oli METTLER TOLEDO XS4002S DeltaRange. Tarjottimelle asetettiin noin 500 grammaa näytettä. Laitetoimittajan mukaan riittävän tarkkuuden ilmoitettiin olevan ± 5 grammaa, mutta käytännössä näytettä punnittiin $\pm 0,2$ gramman tarkkuudella.



KUVA 5. Yksittäinen hakenäyte alumiiniastian (mitat noin 30 * 24 * 6 cm) kanssa vaa'alla ja punnitustulos vieressä

Näytteet asetettiin yksitellen BMA-kosteusanalysointilaiteeseen (kuva 6) ja kosteusprosentti saatiin muutamassa sekunnissa. Sen jälkeen näyte kaadettiin alumiinivuokaan, joka oli jo taarattu valmiiksi, joten punnitustuloksena saatiin ainoastaan näytteen massa. Punnitustarkkuutena käytettiin 0,01 gramman tarkkuutta, vaikka standardin mukaan 0,1 gramman tarkkuus olisi ollut riittävä. Sitten näyte laitettiin alumiinivuokaan kanssa kuivausuuniin ja sama menettely toistettiin kaikille saman näytetyypin näytteille. Näytteiden annettiin olla uunissa keskimäärin 20 tuntia, jonka jälkeen näyte otettiin uunista ja asetettiin alumiinivuokaan kanssa vaa'alle ja vaaka taarattiin. Sen jälkeen alumiinivuoka tyhjennettiin ja tyhjä vuoka asetettiin uudelleen vaa'alle. Näin vaaka saatiin näyttämään pois kaadetun näytteen massaa ja siitä saatiin laskettua kosteusprosentti näytteelle. Tulokset kirjattiin ja tallennettiin myös analysointilaiteeseen. Sama menettely toistettiin kaikille näytteille ja näytetyypeille.



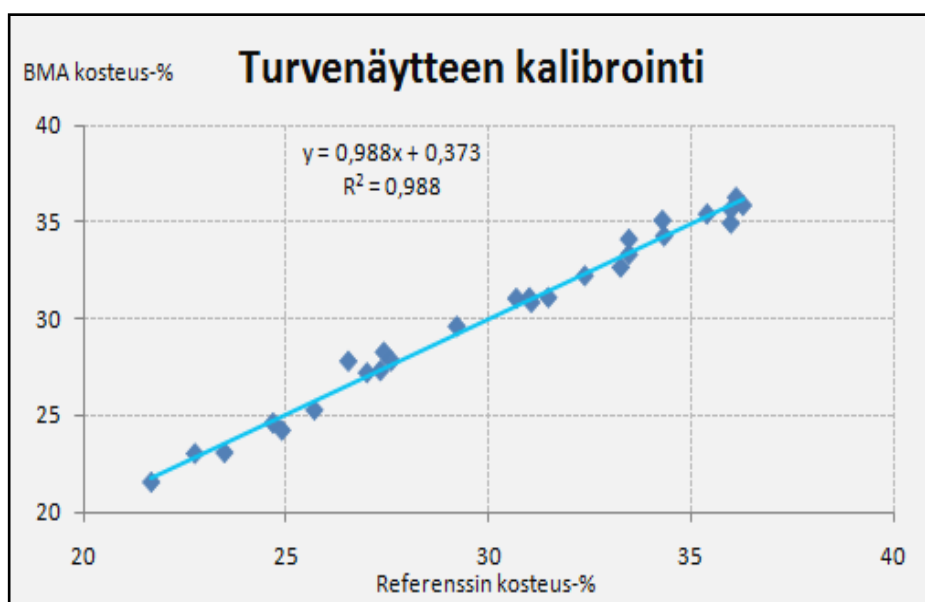
KUVA 6. BMA-kosteusanalysointilaite (Senfit Oy 2011)

Aika ajoin näytteet punnittiin vakiopainoon. Tällä tarkoitetaan sitä, että yksittäinen näyte otettiin yksitellen jokaiselta kuivausuunin hyllyltä, punnittiin alumiinivuokaan kanssa ja laitettiin takaisin kuivausuuniin. Kahden tunnin näyte punnittiin uudelleen ja jos kahden punnituksen välinen punnitusero pysyi standardien määrittämässä rajoissa, voitiin viimeisintä punnitustulosta pitää luotettavana. Jos punnitusten välinen

punnitusero oli liian suuri, laitettiin näyte takaisin kuivausuuniin ja annettiin taas kuivaa kaksi tuntia ja niin edelleen. Minimiaika näytteille kuivausuunissa on kuitenkin 16 tuntia ja enimmäisaika 24 tuntia.

4.4 Kalibrointisuora ja sen viritys

Kalibrointisuoraa ei tehty itse vaan tulokset lähetettiin aina laitevalmistajalle. Laitevalmistajalta lähetettiin yleensä muutamassa päivässä tiedosto kalibrointisuorasta (kuva 7), joka sitten tallennettiin BMA-kosteusanalysaattorille. Kaikkien kalibrointisuorien tallentamisen jälkeen aloitettiin seurantavaihe kaikille näytetyypeille. Seurannassa todettiin kalibroinnin olevan hieman epätarkka, joten lisää tuloksia lähetettiin taas laitevalmistajalle ja viritetyt kalibrointisuorat saatiin tallennettua analysaattorille. Seurantatuloksia lähetettiin 13–21 kappaletta (turpeella 26 kpl). Kalibrointisuoran virittämisen jälkeen kalibrointisuoran odotettiin olevan riittävän lähellä lopullista tasoa ja lopulliset seurantamittaukset tämän työn tuloksia ajatellen voitiin aloittaa.



KUVA 7. Tyypillinen laitetoimittajalta saatu kalibrointisuora, suoran yhtälö ja selityskerroin sekä mittaustulokset pisteinä kahdella eri menetelmällä (Vuolteenaho 2011)

4.5 Toistettavuusmittaukset ja homogenisoinnin merkitys

Tulosten luotettavuuden osoittamiseksi haluttiin tehdä jokaiselle näytetyypille toistettavuusmittaukset. Toistettavuusmittauksilla määritettiin referenssimenetelmän vaihteluväli mittauksille samoissa olosuhteissa ja saman henkilön toimesta. Mittauksia varten tarvittiin 15–20 kg jokaista näytetyyppiä ja mittauksia tehtiin 20 kappaletta.

Homogenisoinnin vaikutuksen testausta varten tarvittiin yli 20 kg näytettä. Testaus tehtiin vain yhteisnäytteelle ja puhtaalle koivukuorelle. Homogenisoitu ja homogenisoimaton näyte pyrittiin käsittelemään niin samalla tavalla kuin mahdollista, jotta ero käsittelyssä tai kosteuden haihtumisessa ilmaan ei tulisi eroja. Näytettä otettiin isosta näytesäkistä ja laitettiin aina pieni sangollinen vuorotellen oksahakkuriin ja uuteen muovisäkkiin. Tällä tavalla varmistettiin näytteen tasainen jakautuminen ennen kosteuden määrittystä.

5 TULOKSET

Mittaustuloksia tilastollisesti analysoimalla voidaan määrittää kahden eri mittausten menetelmän käytettävyys saman muuttujan mittaamiseen. Ensimmäisessä vaiheessa BMA-kosteusanalysointilaitteille muodostettiin kalibrointisuora ja toisessa vaiheessa sitä viritettiin mahdollisimman lähelle lopullista kalibrointisuoraa. Kolmannessa vaiheessa kahdella eri mittausten menetelmällä saatujen mittaustulosten luotettavuutta arvioitiin vertaamalla tuloksia keskenään sekä laskemalla ja analysoimalla niiden tärkeimpiä tilastollisia tunnuslukuja. Mittausten toistettavuutta on arvioitu toistettavuuskokeilla. Toistettavuuskokeilla saadaan arvio menetelmän virheestä ja menetelmien hajontoja vertaamalla voidaan verrata molempien menetelmien tarkkuutta ja toistettavuutta. Lisäksi arvioitiin myös homogenisoinnin aiheuttamaa virhettä mittaustuloksissa. Näissä tuloksissa kaikki mittaustulokset on esitetty kosteusprosentteina.

5.1 Mittaukset BMA-kosteusanalysointilaitteen kalibrointiin ja sen viritukseen

BMA-kosteusanalysointilaitteita varten muodostettiin kalibrointisuora jokaiselle näytetyypille erikseen. Näytetyypeinä oli koivu- ja havuhakkeet, koivu- ja havukuoret, homogenisoidut ja homogenisoimattomat kuoren ja lietteen yhteisnäytteet sekä turpeet. Kalibrointisuoraa varten mittaustuloksia haluttiin vähintään 20 kappaletta jokaista näytetyyppiä kohti. Mittaustulosten vaihteluvälin kuiva-aineprosenteille toivottiin olevan noin 20 %. Näytetyypit eivät todennäköisimmin luonnostaan sisällä riittävää kuiva-ainepitoisuuden vaihteluväliä, joten näytteitä kuivattiin kuivausuunissa tietyn pituisia ajanjaksoja kuiva-ainepitoisuuden lisäämiseksi. Osaan näytteistä lisättiin myös vettä ja siten toivottiin kosteuspitoisuuden lisääntyvän lineaarisesti. Kalibrointinäytteiden keinotekoiset valmistelut ja niiden tarkat tulokset on esitetty liitteessä 6. Kalibrointisuoran tekemistä varten mitattujen näytteiden tärkeimmät tunnusluvut on esitetty taulukossa 1.

Kalibrointisuoran valmistumisen jälkeen aloitettiin jokaisella näytetyypillä seurantamittaukset kalibroinnin onnistumisen todentamiseksi. Seurantamittausten

perusteella kalibroinnit eivät olleet riittävän tarkkoja, joten kalibrointisuoria haluttiin virittää jokaiselle näytetyypille. Ensimmäisten seurantamittausten kosteusprosenttien tarkat tulokset on esitetty liitteessä 6. Ensimmäisten seurantamittausten olennaisimmat tunnusluvut kalibrointisuorien virittämistä varten on esitetty taulukossa 1. Ensimmäisten seurantamittausten ja kalibrointisuorien virittämisen jälkeen kalibrointisuorien toivottiin olevan riittävän tarkat BMA-kosteusanalysointilaitteen mittaustulosten luotettavuuden selvittämiseksi.

TAULUKKO 1. Tärkeimmät tunnusluvut kalibrointisuoran tekemistä, virittämistä ja onnistumista varten

Näytetyyppi	Mittaukset kalibrointia varten (kpl)	Kalibrointi- väli (%)	Kalibroinnin selityskerroin (R ²)	Uudet mittaukset kalibroinnin virittämiseen (kpl)	Viritetyn kalibroinnin selityskerroin (R ²)
Koivuhake	22	51 - 65	0,970	17	0,833
Havuhake	23	43 - 55	0,950	16	0,802
Koivukuori homogenisoitu	30	53 - 72	0,984	13	0,868
Havukuori homogenisoitu	27	39 - 59	0,982	13	0,936
Kuori + liete homogenisoitu	25	43 - 65	0,956	21	0,799
Kuori + liete homogenisoimaton	27	43 - 65	0,977	18	0,897
Turve	27	64 - 78	0,988	26	0,972

Kalibrointinäytteiden lukumäärä oli riittävä jokaiselle näytetyypille ja myös kalibrointiväli melko hyvä kaikilla näytetyypeillä. Hakkeiden mittausten lukumäärä jäi muista näytetyypeistä pienemmäksi, koska keinotekoisesti kostutetut näytteet eivät antaneet riittävän luotettavaa mittaustulosta BMA-analysointilaitteella. Samasta syystä hakkeiden kalibrointiväli kalibrointisuoria varten jäi muista näytetyypeistä pienemmäksi. Turpeen osalta kalibrointiväli ei ollut kovin luotettava, koska alkuperäinen näyte oli jo valmiiksi lähes kuivinta mahdollista vastaanotettavaa turvenäytettä eikä sitä olisi ollut tarpeen kuivata kuivausuunissa enempää. Turvenäyte oli kuitenkin todella

homogeenista, joten kalibrointisuoran selityskerroin osoittautui parhaaksi kaikista näytetyypeistä. Kaikilla muillakin näytetyypeillä selityskerroin oli todella lupaava ja tässä vaiheessa suuria odotuksia antava.

Kalibrointisuorien perusteella aloitettiin sitten seurantamittaukset. Seurantamittausten perusteella kalibrointimittaukset eivät olleet riittävän tarkkoja joten niiden perusteella kaikkia kalibrointisuoria viritettiin vastaamaan lähemmäksi luotettavampia kalibrointisuoria. Seurantamittauksia tehdessä kaikilla näytetyypeillä esiintyi koostumukseltaan erityyppisiä näytteitä, joten vaihtelua kosteusprosenttien välillä esiintyi enemmän mittausmenetelmien välillä ja sen vuoksi myös mittausparien mittapistet jäivät kauemmaksi kalibrointisuorasta ja sitä kautta selityskerroin luonnollisesti pieneni alkuperäiseen kalibrointisuoraan verrattuna.

5.2 Mittaustulosten vertailu ja tilastollinen analyysi menetelmien välillä

Mittaustulosten vertailua ja tilastollista analyysiä tehtiin siis seitsemälle eri näytetyypille. Vertailuissa käytettiin BMA-kosteusanalyysaattorilla ja referenssimenetelmällä saatuja mittaustuloksia. Referenssimenetelmänä käytettiin standardin mukaista uunikuivausmenetelmää. Kaikilla näytetyypeillä yksittäisestä näytteestä tehtiin aina kosteusmääritys molemmilla menetelmillä.

Mittaustuloksia tulee arvioida ainoastaan mittauspareina, koska mitattavat yksittäiset näytteet eivät ole mitenkään toisistaan riippuvaisia vaan saattavat olla hyvinkin erilaisia. Erityisesti yhteisnäyte saattaa sisältää vaihtelevan määrän kuorta ja lietettä. Myös kuorinäytteet saattavat olla koostumukseltaan erilaisia, kuten myös turvenäytteet, jotka otetaan aina kuormakohtaisesti. Hakenäytteet ovat oletukseltaan eniten homogeenisia.

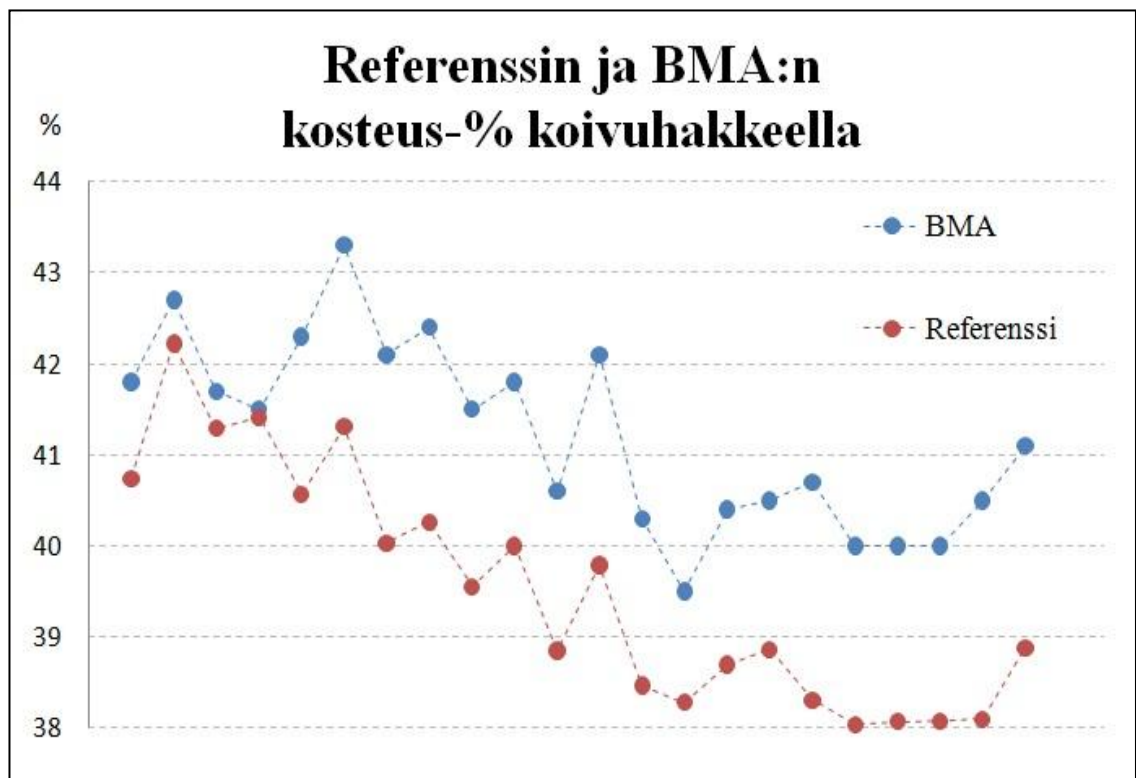
Menetelmien vertailua varten muodostettiin nollahypoteesi, jonka mukaan menetelmät ovat yhtä hyviä kosteusprosentin mittaamiseen. Nollahypoteesin hyväksymistä tai hylkäämistä varten käytettiin tilastollisena menetelmänä t-testiä. Mittaustuloksista laskettiin myös muita olennaisia tilastollisia tunnuslukuja.

5.2.1 Mittaustulokset koivuhakkeella

Koivuhakkeella tehtiin kosteusprosentin määriytyksiä BMA- ja referenssimenetelmällä. Referenssimenetelmänä käytettiin standardin mukaista uunikuivausmenetelmää. Mittaukset tehtiin molemmilla menetelmällä 22:lle eri näytteelle (taulukko 2). Taulukon 2 mittaustulosten mukaan on tehty kuvio 3. Mittaustulokset ovat toisistaan riippumattomia ja kuviossa 3 ne on yhdistetty katkoviivalla ainoastaan seurattavuuden parantamiseksi.

TAULUKKO 2. Koivuhakkeen mittaustulokset pareittain BMA- ja referenssimenetelmällä

Näyte	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
BMA	41,8	42,7	41,7	41,5	42,3	43,3	42,1	42,4	41,5	41,8	40,6
Ref	40,7	42,2	41,3	41,4	40,6	41,3	40,0	40,3	39,5	40,0	38,8
Näyte	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
BMA	42,1	40,3	39,5	40,4	40,5	40,7	40,0	40,0	40,0	40,5	41,1
Ref	39,8	38,5	38,3	38,7	38,9	38,3	38,0	38,1	38,1	38,1	38,9



KUVIO 3. Koivuhakkeen kosteusprosentin määriytykset kahdella eri menetelmällä

Koivuhakkeen tilastolliset tunnusluvut:

Mittausparien lukumäärä	$n = 22$
Mittausparien eroarvojen vaihteluväli	$0,09 \leq x_i \leq 2,40$ (BMA – referenssi)
Mittausparien eroarvojen keskiarvo	$\bar{x}_d = 1,68$ (BMA – referenssi)
Mittausparien eroarvojen standardipoikkeama	$s_d = 0,64$
Mittausparien eroarvojen keskiarvon keskivirhe	$s_m = 0,14$
Vapausaste	$f = 21$
Taulukon mukainen t-arvo	$t = 2,08$, kun $f = 21$ ja $p = 5 \%$
Parittainen ja kaksisuuntainen t-testi	$t = 12,33$
Laajennettu epävarmuus keskiarvolle	$U = \pm 0,28$
→ keskiarvon luottamusrajat	$1,40 \leq \bar{x} \leq 1,97$
Suurin odotettavissa oleva ero keskiarvolle	$\Delta = 0,40$, kun $p = 5 \%$

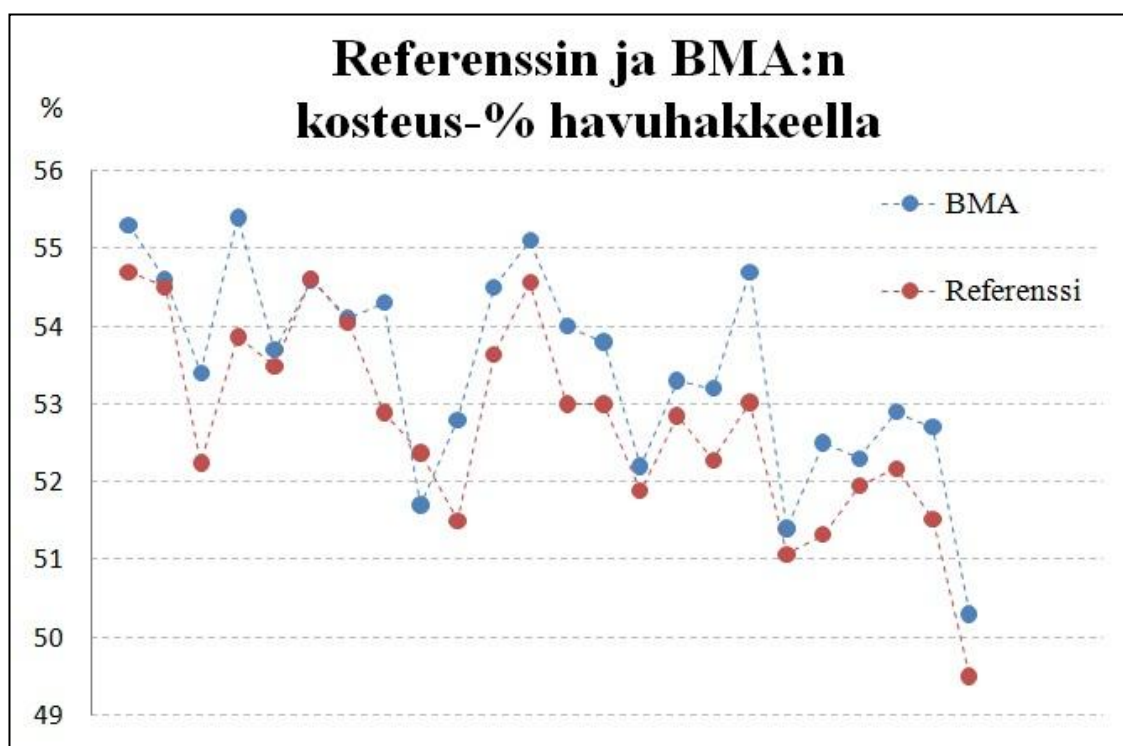
Mittaustulokset koivuhakkeella ovat melko pienellä vaihteluvälillä, koska hakkeen kosteusprosentti ei vaihtele kesäaikaan kovinkaan paljoa ja koivuhake itsessään on näytetyyppinä melko homogeenista. Kaikille mittauspareille on laskettu eroarvo ja tilastolliset tunnusluvut näiden eroarvojen mukaan. Mittaustuloksista on selkeästi havaittavissa systemaattista virhettä, jonka myös parittainen ja kaksisuuntainen t-testi selkeästi osoittaa. Tällaisenaan mittausmenetelmät eroavat toisistaan, mutta kalibrointisuoran vakiotermin korjaaminen 1,4–1,9 %:lla poistaisi systemaattisen virheen ja silloin myös tilastollisesti molemmat mittausmenetelmät olisivat yhtä sopivia.

5.2.2 Mittaustulokset havuhakkeella

Havuhakkeella tehtiin kosteusprosentin määrittämiä BMA- ja referenssimenetelmällä. Referenssimenetelmänä käytettiin standardin mukaista uunikuivausmenetelmää. Mittaukset tehtiin molemmilla menetelmällä 24:lle eri näytteelle (taulukko 3). Taulukon 3 mittaustulosten mukaan on tehty kuvio 4. Mittaustulokset ovat toisistaan riippumattomia ja kuviossa 4 ne on yhdistetty katkoviivalla ainoastaan seurattavuuden parantamiseksi.

TAULUKKO 3. Havuhakkeen mittaustulokset pareittain BMA- ja referenssimenetelmällä

Näyte	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
BMA	55,3	54,6	53,4	55,4	53,7	54,6	54,1	54,3	51,7	52,8	54,5	55,1
Ref	54,7	54,5	52,2	53,9	53,5	54,6	54,0	52,9	52,4	51,5	53,6	54,6
Näyte	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
BMA	54,0	53,8	52,2	53,3	53,2	54,7	51,4	52,5	52,3	52,9	52,7	50,3
Ref	53,0	53,0	51,9	52,8	52,3	53,0	51,1	51,3	52,0	52,2	51,5	49,5



KUVIO 4. Havuhakkeen kosteusprosentin määrittämiset kahdella eri menetelmällä

Havuhakkeen tilastolliset tunnusluvut:

Mittausparien lukumäärä	$n = 24$
Mittausparien eroarvojen vaihteluväli	$-0,67 \leq x_i \leq 1,68$ (BMA – referenssi)
Mittausparien eroarvojen keskiarvo	$\bar{x}_d = 0,70$ (BMA – referenssi)
Mittausparien eroarvojen standardipoikkeama	$s_d = 0,57$
Mittausparien eroarvojen keskiarvon keskivirhe	$s_m = 0,12$
Vapausaste	$f = 23$
Taulukon mukainen t-arvo	$t = 2,07$, kun $f = 23$ ja $p = 5\%$

Parittainen ja kaksisuuntainen t-testi	$t = 6,03$
Laajennettu epävarmuus keskiarvolle	$U = \pm 0,24$
→ keskiarvon luottamusrajat	$0,46 \leq \bar{x} \leq 0,94$
Suurin odotettavissa oleva ero keskiarvolle	$\Delta = 0,34$, kun $p = 5 \%$

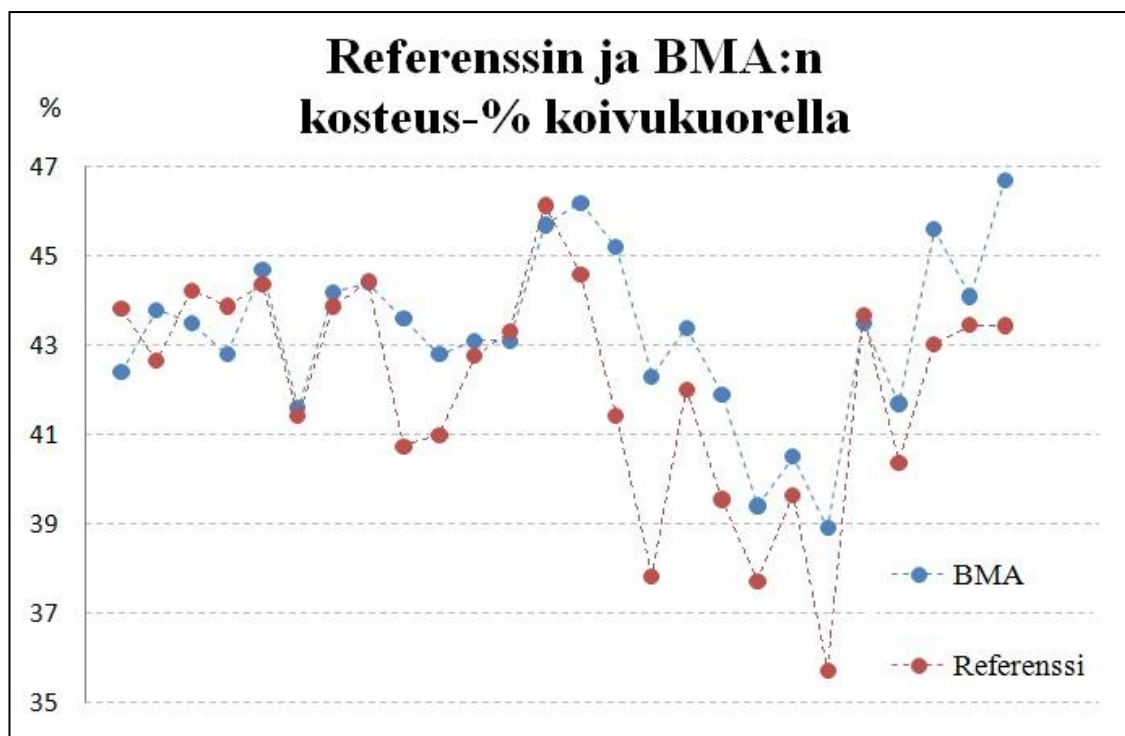
Mittaustulokset havuhakkeella ovat isommalla vaihteluvälillä kuin koivuhakkeella, koska havuhake ei ole niin homogeenista ja näytteenotossa saattaa tapahtua hieman valikoitumista. Kaikille mittauspareille on laskettu eroarvo ja tilastolliset tunnusluvut näiden eroarvojen mukaan. Mittaustuloksista on selkeästi havaittavissa systemaattista virhettä, jonka myös parittainen ja kaksisuuntainen t-testi osoittaa. Systemaattista virhettä on kuitenkin selkeästi vähemmän kuin koivuhakkeella. Tällaisenaan mittausmenetelmät kuitenkin eroavat toisistaan. Kalibrointisuoran vakiotermin korjaaminen 0,5–0,9 %:lla poistaisi systemaattisen virheen ja silloin myös tilastollisesti molemmat mittausmenetelmät olisivat yhtä sopivia.

5.2.3 Mittaustulokset koivukuorella

Koivukuorella tehtiin kosteusprosentin määrittämiä BMA- ja referenssimenetelmällä. Referenssimenetelmänä käytettiin standardin mukaista uunikuivausmenetelmää. Mittaukset tehtiin molemmilla menetelmällä 26:lle eri näytteelle (taulukko 4). Taulukon 4 mittaustulosten mukaan on tehty kuvio 5. Mittaustulokset ovat toisistaan riippumattomia ja kuviossa 5 ne on yhdistetty katkoviivalla ainoastaan seurattavuuden parantamiseksi.

TAULUKKO 4. Koivukuoren mittaustulokset pareittain BMA- ja referenssimenetelmällä

Näyte	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
BMA	42,4	43,8	43,5	42,8	44,7	41,6	44,2	44,4	43,6	42,8	43,1	43,1	45,7
Ref	43,8	42,7	44,2	43,9	44,4	41,4	43,9	44,4	40,7	41,0	42,8	43,3	46,1
Näyte	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
BMA	46,2	45,2	42,3	43,4	41,9	39,4	40,5	38,9	43,5	41,7	45,6	44,1	46,7
Ref	44,6	41,4	37,8	42,0	39,5	37,7	39,6	35,7	43,7	40,4	43,0	43,5	43,4



KUVIO 5. Koivukuoren kosteusprosentin määrittäykset kahdella eri menetelmällä

Koivukuoren tilastolliset tunnusluvut:

Mittausparien lukumäärä	$n = 26$
Mittausparien eroarvojen vaihteluväli	$-1,42 \leq x_i \leq 4,48$ (BMA – referenssi)
Mittausparien eroarvojen keskiarvo	$\bar{x}_d = 1,16$ (BMA – referenssi)
Mittausparien eroarvojen standardipoikkeama	$s_d = 1,56$
Mittausparien eroarvojen keskiarvon keskivirhe	$s_m = 0,30$
Vapausaste	$f = 25$
Taulukon mukainen t-arvo	$t = 2,06$, kun $f = 25$ ja $p = 5\%$
Parittainen ja kaksisuuntainen t-testi	$t = 3,80$
Laajennettu epävarmuus keskiarvolle	$U = \pm 0,63$
→ keskiarvon luottamusrajat	$0,53 \leq \bar{x} \leq 1,78$
Suurin odotettavissa oleva ero keskiarvolle	$\Delta = 0,89$, kun $p = 5\%$

Mittaustulokset koivukuorella ovat isolla vaihteluvälillä, koska koivukuori on epähomogeenista. Näytteenotossa saattaa tapahtua valikoitumista tuohen, kuoren ja puumateriaalin määrän suhteen ja se vaikuttaa suoraan kosteusprofiiliin, sillä näiden kosteudet ovat usein erisuuruisia. Kaikille mittauspareille on laskettu eroarvo ja

tilastolliset tunnusluvut näiden eroarvojen mukaan. Mittaustuloksista ei ole selkeästi havaittavissa systemaattista virhettä, jonka myös t-testillä saatava arvo osoittaa. T-arvo on vain niukasti taulukkoarvoa isompi. Tällaisenaan mittausten menetelmiä voisi pitää lähes yhtä sopivina, mutta kalibroitaisuoran vakiotermin tarkentaminen 0,6–1,7 %:lla poistaisi tämän pienen systemaattisen virheen ja silloin myös tilastollisesti molemmat mittausten menetelmät olisivat yhtä sopivia.

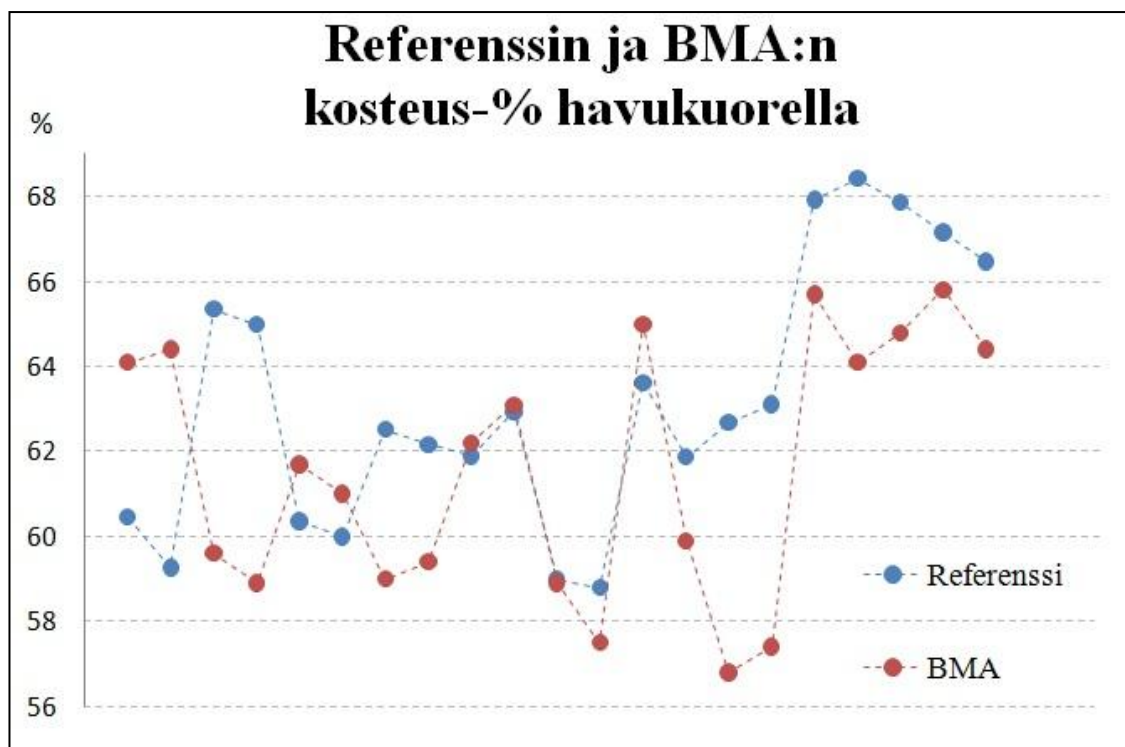
Mittaustulosten eroarvoissa kuitenkin hieman huolestuttaa suuri vaihteluväli. Eroarvo on suurimmillaan on noin 4,5 %. Tämä johtuu siitä, että kalibrointi on tehty tietyille osuudelle tuolta, kuorta ja puumateriaalia. Suurimmat eroarvot esiintyvät juuri tuohipitoisella materiaalilla. Suurta tuohipitoisuutta sisältävää näytettä ei esiinny kovinkaan usein näytteiden lukumäärään nähden.

5.2.4 Mittaustulokset havukuorella

Havukuorella tehtiin kosteusprosentin määrittämiä BMA- ja referenssimenetelmällä. Referenssimenetelmänä käytettiin standardin mukaista uunikuivausmenetelmää. Mittaukset tehtiin molemmilla menetelmällä 21:lle eri näytteelle (taulukko 5). Taulukon 5 mittaustulosten mukaan on tehty kuvio 6. Mittaustulokset ovat toisistaan riippumattomia ja kuviossa 6 ne on yhdistetty katkoviivalla ainoastaan seurattavuuden parantamiseksi.

TAULUKKO 5. Havukuoren mittaustulokset pareittain BMA- ja referenssimenetelmällä

Näyte	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
BMA	64,1	64,4	59,6	58,9	61,7	61,0	59,0	59,4	62,2	63,1	58,9
Ref	60,5	59,3	65,3	65,0	60,4	60,0	62,5	62,2	61,9	62,9	59,0
Näyte	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
BMA	57,5	65,0	59,9	56,8	57,4	65,7	64,1	64,8	65,8	64,4	
Ref	58,8	63,6	61,9	62,7	63,1	67,9	68,4	67,8	67,2	66,5	



KUVIO 6. Havukuoren kosteusprosentin määrittämiset kahdella eri menetelmällä

Havukuoren tilastolliset tunnusluvut:

Mittausparien lukumäärä	$n = 21$
Mittausparien eroarvojen vaihteluväli	$-5,14 \leq x_i \leq 6,09$ (Referenssi – BMA)
Mittausparien eroarvojen keskiarvo	$\bar{x}_d = 1,58$ (Referenssi – BMA)
Mittausparien eroarvojen standardipoikkeama	$s_d = 3,10$
Mittausparien eroarvojen keskiarvon keskivirhe	$s_m = 0,68$
Vapausaste	$f = 20$
Taulukon mukainen t-arvo	$t = 2,09$, kun $f = 20$ ja $p = 5\%$
Parittainen ja kaksisuuntainen t-testi	$t = 2,33$
Laajennettu epävarmuus keskiarvolle	$U = \pm 1,42$
→ keskiarvon luottamusrajat	$0,16 \leq \bar{x} \leq 3,00$
Suurin odotettavissa oleva ero keskiarvolle	$\Delta = 2,01$, kun $p = 5\%$

Mittaustulokset havukuorella ovat huomattavasti isommalla vaihteluvälillä kuin koivukuorella, koska havukuori on erittäin epähomogeenista. Havukuori saattaa myös sisältää eri määriä mänty- ja kuusikuorta. Kalibrointisuoran tekemisessä käytetyt

mittaustulokset ovat lähes ainoastaan mäntykuorta. Kaikki suurimmat eroarvot, joissa referenssin kosteus on isompi, selittyvät nimenomaan kuusikuorinäytteillä.

Kahta ensimmäistä eroarvoa on hankala selittää, koska näytteessä ei silmämääräisesti ole ollut mitään erikoista. Se ei kuitenkaan sulje pois sitä mahdollisuutta, että näyte olisi sisältänyt esimerkiksi erityisen paljon puumateriaalia. Toinen vaihtoehto voisi olla se, että näytteen mukana olisi vahingossa ollut lietettä mukana, vaikka tätä ei silmämääräisesti havaittukaan.

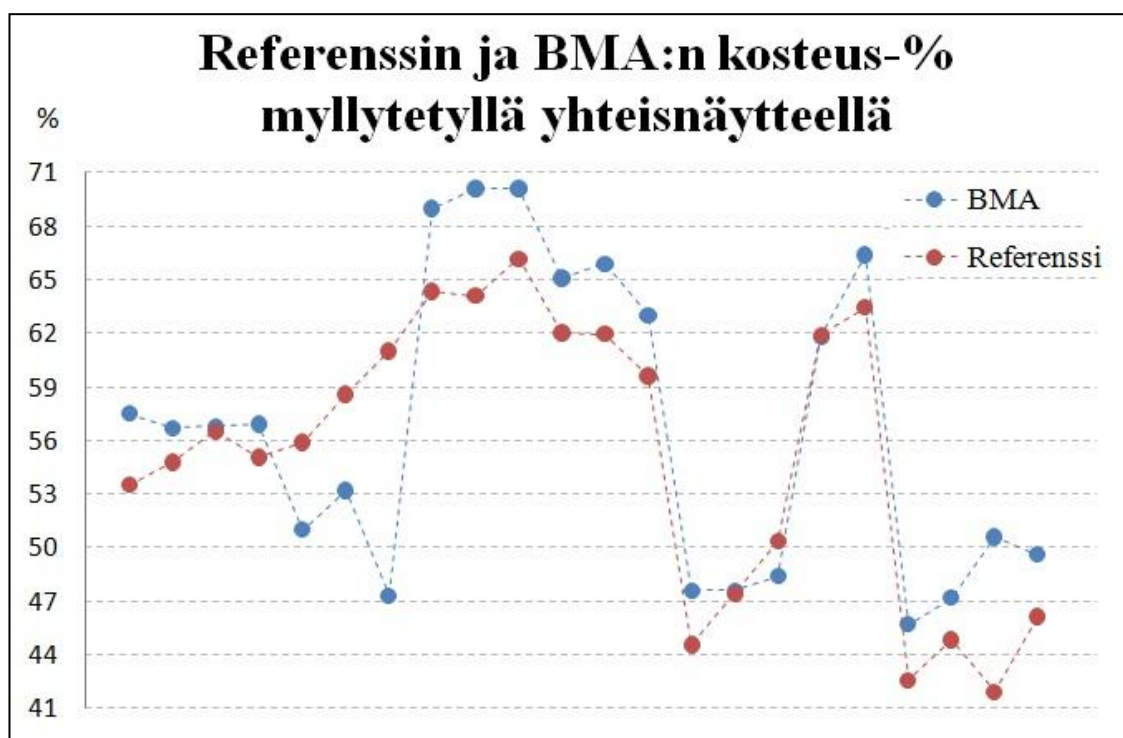
Kaikille mittauspareille on laskettu eroarvo ja tilastolliset tunnusluvut näiden eroarvojen mukaan. T-arvo on keskiarvojen vertailussa käytettävä menetelmä ja arvioi ainoastaan eroarvojen keskiarvoa. Tässä tapauksessa t-arvo ei kuitenkaan yksistään ole riittävä määrittämään menetelmien välistä eroa, vaikka se osoittaaakin systemaattisen virheen olevan vähäistä. Mittaustulosten eroarvoissa eniten huolestuttaa suuri vaihteluväli, joka suurimmillaan on noin viisi prosenttia toiseen suuntaan ja kuusi prosenttia toiseen suuntaan. Toinen huolen aihe on standardipoikkeama, joka on yli kaksinkertainen koivukuoreen nähden.

5.2.5 Mittaustulokset homogenisoidulla yhteisnäytteellä

Homogenisoidulle yhteisnäytteelle tehtiin kosteusprosentin määrittämiä BMA- ja referenssimenetelmällä. Referenssimenetelmänä käytettiin standardin mukaista uunikuivausmenetelmää. Mittaukset tehtiin molemmilla menetelmällä 22:lle eri näytteelle (taulukko 6). Taulukon 6 mittaustulosten mukaan on tehty kuvio 7. Mittaustulokset ovat toisistaan riippumattomia ja kuviossa 7 ne on yhdistetty katkoviivalla ainoastaan seurattavuuden parantamiseksi.

TAULUKKO 6. Homogenisoidun yhteisnäytteen mittaustulokset pareittain BMA- ja referenssimenetelmällä

Näyte	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
BMA	57,5	56,7	56,8	56,9	51,0	53,2	47,3	69,0	70,1	70,1	65,1
Ref	53,5	54,8	56,5	55,0	55,9	58,6	61,0	64,3	64,1	66,2	62,0
Näyte	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
BMA	65,9	63,0	47,6	47,6	48,4	61,8	66,4	45,7	47,2	50,6	49,6
Ref	62,0	59,6	44,6	47,4	50,3	61,9	63,5	42,6	44,8	41,9	46,1



KUVIO 7. Homogenisoidun yhteisnäytteen kosteusprosentin määritykset kahdella eri menetelmällä

Homogenisoidun yhteisnäytteen tilastolliset tunnusluvut:

Mittausparien lukumäärä	$n = 22$
Mittausparien eroarvojen vaihteluväli	$-13,70 \leq x_i \leq 8,68$ (BMA – referenssi)
Mittausparien eroarvojen keskiarvo	$\bar{x}_d = 1,40$ (BMA – referenssi)
Mittausparien eroarvojen standardipoikkeama	$s_d = 4,65$
Mittausparien eroarvojen keskiarvon keskivirhe	$s_m = 0,99$
Vapausaste	$f = 21$
Taulukon mukainen t-arvo	$t = 2,08$, kun $f = 20$ ja $p = 5\%$

Parittainen ja kaksisuuntainen t-testi	$t = 1,42$
Laajennettu epävarmuus keskiarvolle	$U = \pm 2,06$
→ keskiarvon luottamusrajat	$-0,66 \leq \bar{x} \leq 3,46$
Suurin odotettavissa oleva ero keskiarvolle	$\Delta = 2,91$, kun $p = 5 \%$

Mittaustulokset homogenisoidulle yhteisnäytteelle ovat myös todella isolla vaihteluvälillä, koska näyte on erittäin epähomogeenista. Yhteisnäyte sisältää myös täysin eri määriä koivu- ja havukuorta sekä lietettä. Yhteisnäytteelle on mahdotonta tehdä yhtä yhteistä kalibrointisuoraa. Mittaustuloksista voidaan päätellä, että vähäinen määrä lietettä antaa referenssimenetelmällä pienemmän kosteusprosentin ja suuri määrä lietettä antaa isomman kosteusprosentin.

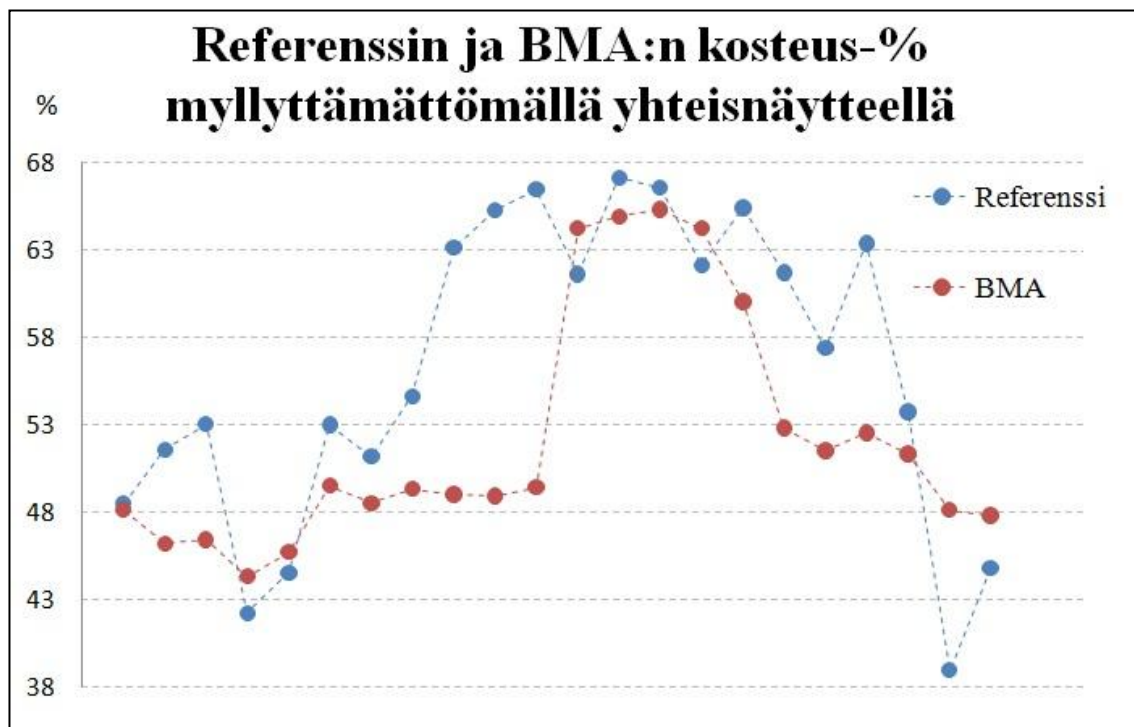
Kaikille mittauspareille on laskettu eroarvo ja tilastolliset tunnusluvut näiden eroarvojen mukaan. T-arvo on keskiarvojen vertailussa käytettävä menetelmä ja arvioi ainoastaan eroarvojen keskiarvoa. Tässä tapauksessa t-arvo ei kuitenkaan yksistään ole riittävä määrittämään menetelmien välistä eroa, vaikka se osoittaaakin, että systemaattisen virhettä ei ole.

5.2.6 Mittaustulokset homogenisoimattomalla yhteisnäytteellä

Homogenisoimattomalle yhteisnäytteelle tehtiin kosteusprosentin määrittämiä BMA- ja referenssimenetelmällä. Referenssimenetelmänä käytettiin standardin mukaista uunikuivausmenetelmää. Mittaukset tehtiin molemmilla menetelmällä 22:lle eri näytteelle (taulukko 7). Taulukon 7 mittaustulosten mukaan on tehty kuvio 8. Mittaustulokset ovat toisistaan riippumattomia ja kuviossa 8 ne on yhdistetty katkoviivalla ainoastaan seurattavuuden parantamiseksi.

TAULUKKO 7. Homogenisoimattoman yhteisnäytteen mittaustulokset pareittain BMA- ja referenssimenetelmällä

Näyte	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
BMA	48,1	46,2	46,4	44,3	45,7	49,5	48,5	49,3	49,0	48,9	49,4
Ref	48,5	51,6	53,0	42,2	44,5	53,0	51,1	54,6	63,1	65,3	66,4
Näyte	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
BMA	64,2	64,9	65,3	64,2	60,0	52,8	51,5	52,5	51,3	48,1	47,8
Ref	61,6	67,1	66,5	62,1	65,4	61,7	57,4	63,3	53,7	38,9	44,8



KUVIO 8. Homogenisoimattoman yhteisnäytteen kosteusprosentin määrittämiset kahdella eri menetelmällä

Homogenisoimattoman yhteisnäytteen tilastolliset tunnusluvut:

Mittausparien lukumäärä	$n = 22$
Mittausparien eroarvojen vaihteluväli	$-9,18 \leq x_i \leq 17,02$ (referenssi – BMA)
Mittausparien eroarvojen keskiarvo	$\bar{x}_d = 4,00$ (referenssi – BMA)
Mittausparien eroarvojen standardipoikkeama	$s_d = 6,58$
Mittausparien eroarvojen keskiarvon keskivirhe	$s_m = 1,40$
Vapausaste	$f = 21$
Taulukon mukainen t-arvo	$t = 2,08$, kun $f = 20$ ja $p = 5\%$

Parittainen ja kaksisuuntainen t-testi	$t = 2,85$
Laajennettu epävarmuus keskiarvolle	$U = \pm 2,92$
→ keskiarvon luottamusrajat	$1,08 \leq \bar{x} \leq 6,91$
Suurin odotettavissa oleva ero keskiarvolle	$\Delta = 4,13$, kun $p = 5 \%$

Mittaustulokset homogenisoimattomalla yhteisnäytteellä ovat kaikista isoimmalla vaihteluvälillä, koska näyte on erittäin epähomogeenista. Yhteisnäyte sisältää myös täysin eri määriä koivu- ja havukuorta sekä lietettä. Yhteisnäytteelle on mahdotonta tehdä yhtä yhteistä kalibrointisuoraa. Mittaustuloksista voidaan päätellä, että vähäinen määrä lietettä antaa referenssimenetelmällä pienemmän kosteusprosentin ja suuri määrä lietettä antaa isomman kosteusprosentin, aivan kuten homogenisoidullakin yhteisnäytteellä.

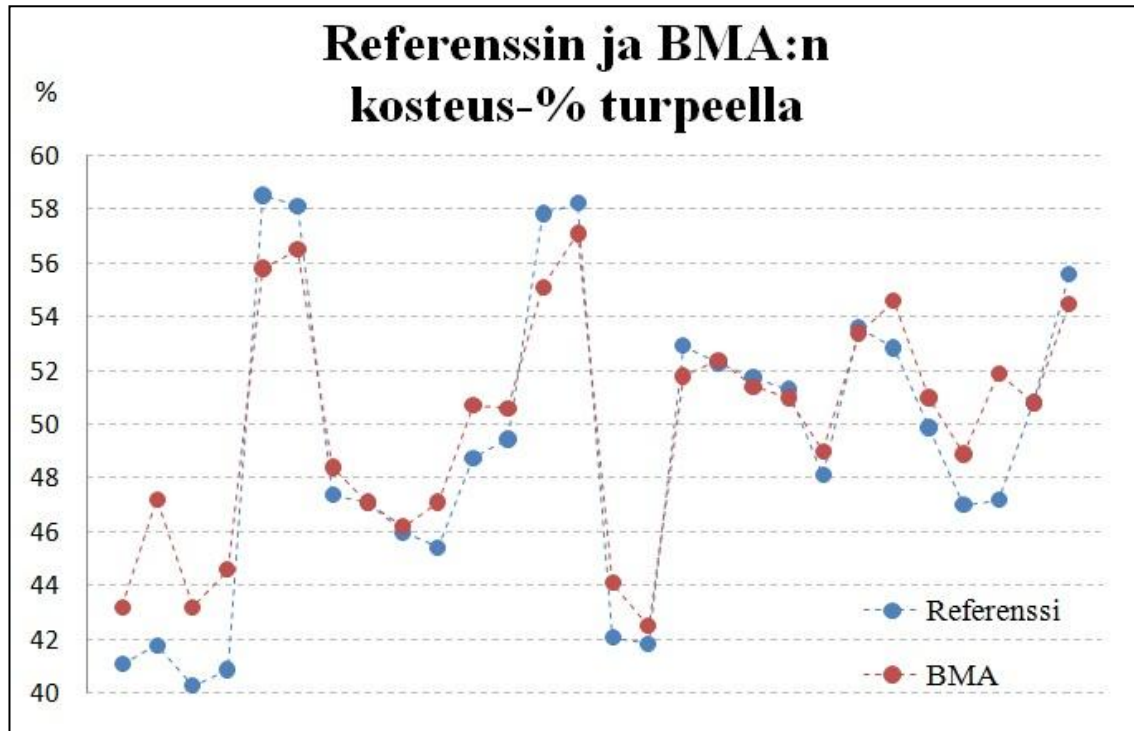
Kaikille mittauspareille on laskettu eroarvo ja tilastolliset tunnusluvut näiden eroarvojen mukaan. T-arvo on keskiarvojen vertailussa käytettävä menetelmä ja arvioi ainoastaan eroarvojen keskiarvoa. Tässä tapauksessa t-arvo ei kuitenkaan yksistään ole riittävä määrittämään menetelmien välistä eroa, vaikka se osoittaakin, että systemaattisen virhettä ei ole.

5.2.7 Mittaustulokset turpeella

Turpeella tehtiin kosteusprosentin määrittämiä BMA- ja referenssimenetelmällä. Referenssimenetelmänä käytettiin standardin mukaista uunikuivausmenetelmää. Mittaukset tehtiin molemmilla menetelmällä 28:lle eri näytteelle (taulukko 8). Taulukon 8 mittauksien mukaan on tehty kuvio 9. Mittaustulokset ovat toisistaan riippumattomia ja kuviossa 9 ne on yhdistetty katkoviivalla ainoastaan seurattavuuden parantamiseksi.

TAULUKKO 8. Turpeen mittaustulokset pareittain BMA- ja referenssimenetelmällä

Näyte	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
BMA	43,2	47,2	43,2	44,6	55,8	56,5	48,4	47,1	46,2	47,1	50,7	50,6	55,1	57,1
Ref	41,1	41,8	40,3	40,9	58,5	58,1	47,4	47,1	46,0	45,4	48,7	49,5	57,8	58,2
Näyte	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
BMA	44,1	42,5	51,8	52,4	51,4	51,0	49,0	53,4	54,6	51,0	48,9	51,9	50,8	54,5
Ref	42,1	41,8	52,9	52,3	51,8	51,3	48,1	53,6	52,8	49,9	47,0	47,2	50,8	55,6



KUVIO 9. Turpeen kosteusprosentin määrittämiset kahdella eri menetelmällä

Turpeen tilastolliset tunnusluvut:

Mittausparien lukumäärä	$n = 28$
Mittausparien eroarvojen vaihteluväli	$-2,75 \leq x_i \leq 5,42$ (BMA – referenssi)
Mittausparien eroarvojen keskiarvo	$\bar{x}_d = 0,79$ (BMA – referenssi)
Mittausparien eroarvojen standardipoikkeama	$s_d = 1,96$
Mittausparien eroarvojen keskiarvon keskivirhe	$s_m = 0,37$
Vapausaste	$f = 27$
Taulukon mukainen t-arvo	$t = 2,05$, kun $f = 27$ ja $p = 5\%$
Parittainen ja kaksisuuntainen t-testi	$t = 2,13$
Laajennettu epävarmuus keskiarvolle	$U = \pm 0,77$

→ keskiarvon luottamusrajat	$0,02 \leq \bar{x} \leq 1,56$
Suurin odotettavissa oleva ero keskiarvolle	$\Delta = 1,09$, kun $p = 5 \%$
Grubbsin arvo (mittaustulokselle 5,42)	$G = 2,34$ (taulukkoarvo noin 3,16)

Mittaustulokset turpeella ovat isolla vaihteluvälillä, vaikka turpeen olettaisi olevan melko homogeenista ja vähän vaihtelua sisältävää. Turvenäytteet voivat kuitenkin olla koostumukseltaan erilaatuisia ja sen huomaa selvästi joistain mittaustuloksista. Suurin osa turpeelle tehdyistä kosteusprosentin määrittämisistä ovat todella lähellä toisiaan molemmilla menetelmillä, mutta joukossa on isojakin eroja, jonka vuoksi keskihajonta muodostuu melko suureksi.

Kaikille mittaustuloksille on laskettu eroarvo ja tilastolliset tunnusluvut näiden eroarvojen mukaan. Mittaustuloksista ei ole selkeästi havaittavissa systemaattista virhettä, jonka myös parittainen ja kaksisuuntainen t-testi osoittaa. Yhden mittaustuloksen arveltiin olevan virheellinen, mutta Grubbsin testin mukaan se ei sitä ollut.

5.3 Toistettavuus

Toistettavuusmittauksilla saadaan yleensä menetelmän virhe. Näissä mittauksissa ei menetelmän virhettä saada suoraan, koska näytteet saattavat olla todella epähomogeenisia. Standarditkaan eivät suosi toistettavuusmittauksia juuri sen vuoksi, että näytteet ovat usein epähomogeenisia. Ainoastaan hakkeen osalta standardeissa on mainittu variaatiokerroin toistettavuustesteille.

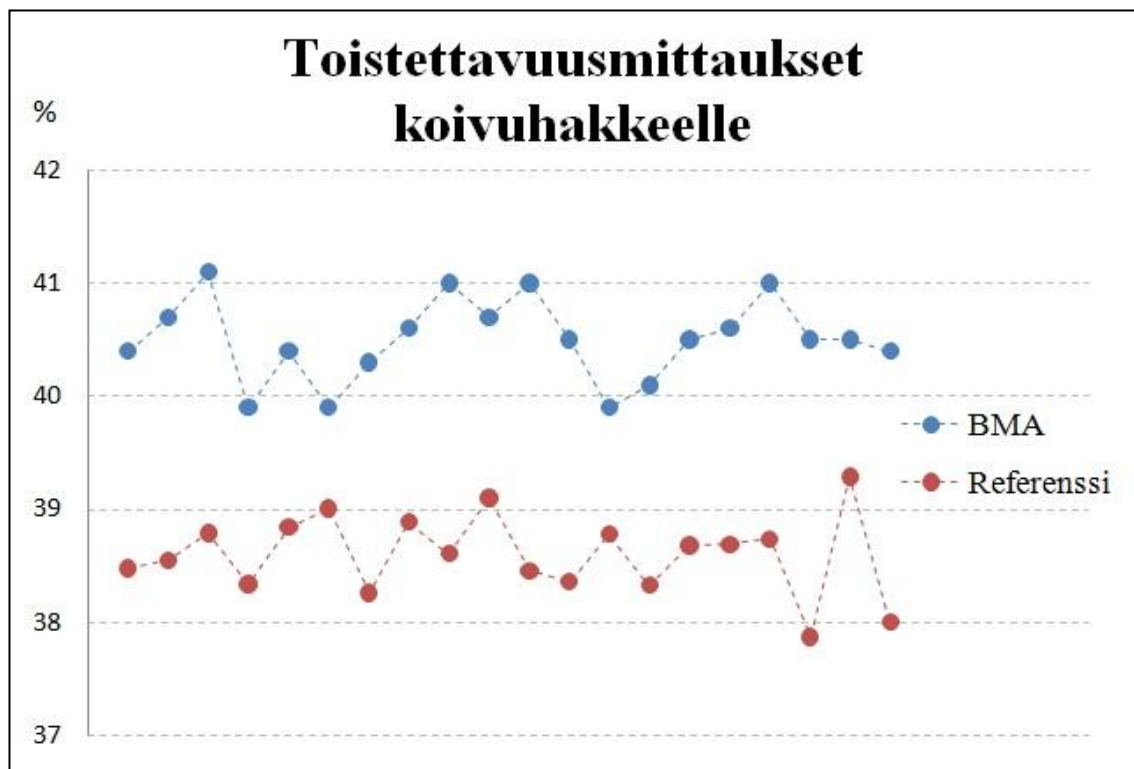
Näissä toistettavuustesteissä mittaukset tehtiin siten, että yhdestä näytteestä tehtiin aina kosteusprosentin määrittäminen kahdella eri menetelmällä ja sen vuoksi eri menetelmillä saadut tulokset ovat vertailukelpoisia, jos verrataan niiden hajontoja keskenään. Siitä huolimatta, että kalibrointi ei olisikaan ihan kohdallaan, pitäisi molempien menetelmien hajonnat olla riittävän lähellä toisiaan, jotta menetelmiä voitaisiin pitää yhtä luotettavina. Hajontoja voidaan verrata varianssikertoimen, f-testin ja oman tuntuman avulla. Kalibrointisuoraahan on yleensä helppo virittää jälkikäteen.

5.3.1 Toistettavuus koivuhakkeella

Koivuhakkeella tehtiin kosteusprosentin määrittäviä BMA- ja referenssimenetelmällä. Referenssimenetelmänä käytettiin standardin mukaista uunikuivausmenetelmää. Mittaukset tehtiin molemmilla menetelmällä 20:lle eri näytteelle (taulukko 9). Taulukon 9 mittaustulosten mukaan on tehty kuvio 10. Mittaustulokset ovat toisistaan riippumattomia ja kuviossa 10 ne on yhdistetty katkoviivalla ainoastaan seurattavuuden parantamiseksi.

TAULUKKO 9. Koivuhakkeen toistettavuustestin mittaustulokset pareittain BMA- ja referenssimenetelmällä

Näyte	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
BMA	40,4	40,7	41,1	39,9	40,4	39,9	40,3	40,6	41,0	40,7
Ref	38,5	38,5	38,8	38,3	38,8	39,0	38,3	38,9	38,6	39,1
Näyte	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
BMA	41,0	40,5	39,9	40,1	40,5	40,6	41,0	40,5	40,5	40,4
Ref	38,5	38,4	38,8	38,3	38,7	38,7	38,7	37,9	39,3	38,0



KUVIO 10. Koivuhakkeen toistettavuustestin mittaustulokset pareittain BMA- ja referenssimenetelmällä

Koivuhakkeen tilastolliset tunnusluvut:

Referenssimittausten keskiarvo	\bar{x}_{ref}	= 38,61
BMA-mittausten keskiarvo	\bar{x}_{BMA}	= 40,50
Referenssimittausten standardipoikkeama	s_{ref}	= 0,35
BMA-mittausten standardipoikkeama	s_{BMA}	= 0,36
Referenssimittausten variaatiokerroin	CoV_{ref}	= 0,92
BMA-mittausten variaatiokerroin	CoV_{BMA}	= 0,90
F-arvo	F	= 1,06
F-arvo taulukosta	$F_{19,19}$	= 2,53

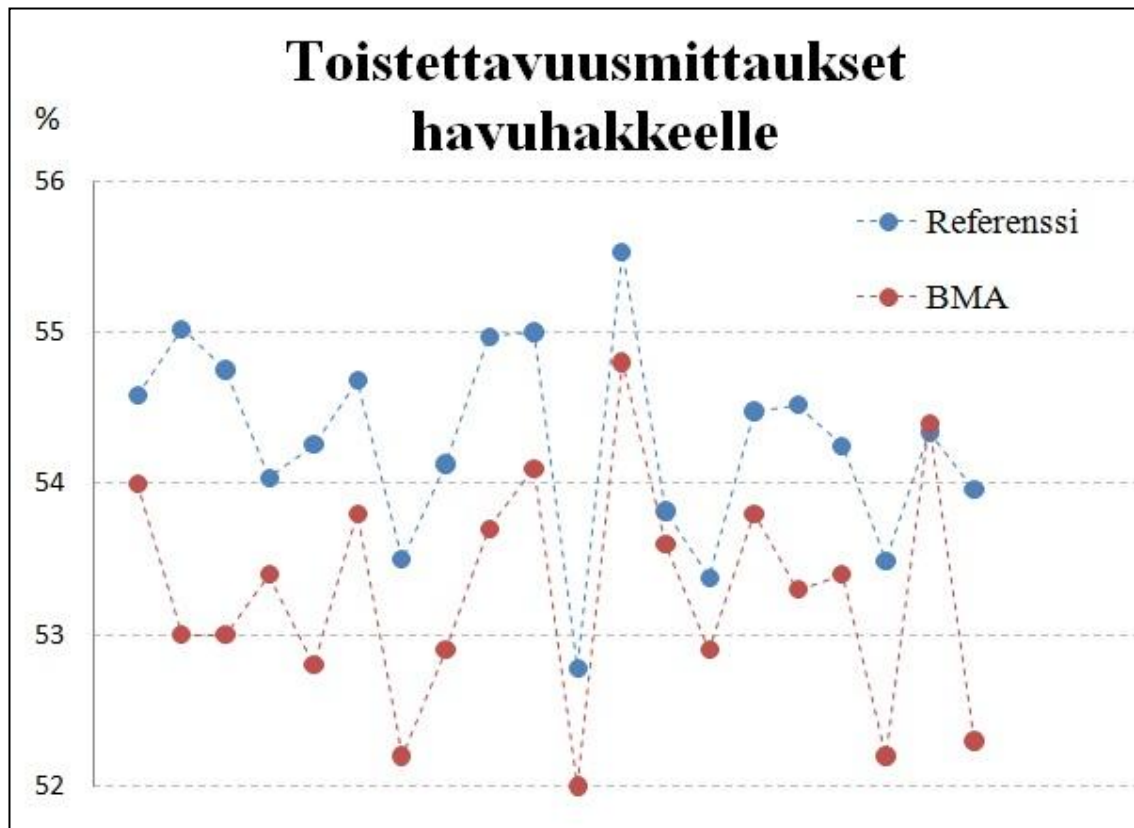
Koivuhake osoittautui melko homogeeniseksi toistettavuusmittauksissa. Käytännössä lähes kaikki 20 mittausta olivat yhden prosentin sisällä molemmilla menetelmillä. Hajonnat ovat todella lähellä toisiaan, josta myös f-testi kertoo. Variaatiokertoimet ovat myös todella pienet ja lähellä toisiaan. Koivuhakkeella toistettavuustestit antoivat parhaat tulokset kaikista näytetyypeistä.

5.3.2 Toistettavuus havuhakkeella

Havuhakkeella tehtiin kosteusprosentin määrittämiä BMA- ja referenssimenetelmällä. Referenssimenetelmänä käytettiin standardin mukaista uunikuivausmenetelmää. Mittaukset tehtiin molemmilla menetelmällä 20:lle eri näytteelle (taulukko 10). Taulukon 10 mittaustulosten mukaan on tehty kuvio 11. Mittaustulokset ovat toisistaan riippumattomia ja kuviossa 11 ne on yhdistetty katkoviivalla ainoastaan seurattavuuden parantamiseksi.

TAULUKKO 10. Havuhakkeen toistettavuustestin mittaustulokset pareittain BMA- ja referenssimenetelmällä

Näyte	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
BMA	54,0	53,0	53,0	53,4	52,8	53,8	52,2	52,9	53,7	54,1
Ref	54,6	55,0	54,8	54,0	54,3	54,7	53,5	54,1	55,0	55,0
Näyte	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
BMA	52,0	54,8	53,6	52,9	53,8	53,3	53,4	52,2	54,4	52,3
Ref	52,8	55,5	53,8	53,4	54,5	54,5	54,3	53,5	54,3	54,0



KUVIO 11. Havuhakkeen toistettavuustestin mittaustulokset pareittain BMA- ja referenssimenetelmällä

Havuhakkeen tilastolliset tunnusluvut:

Referenssimittausten keskiarvo \bar{x}_{ref} = 54,28

BMA-mittausten keskiarvo \bar{x}_{BMA} = 53,28

Referenssimittausten standardipoikkeama s_{ref} = 0,66

BMA-mittausten standardipoikkeama s_{BMA} = 0,77

Referenssimittausten variaatiokerroin CoV_{ref} = 1,22

BMA-mittausten variaatiokerroin	$CoV_{BMA} = 1,44$
F-arvo	$F = 1,34$
F-arvo taulukosta	$F_{19,19} = 2,53$

Havuhake ei osoittautunut toistettavuusmittauksissa ihan niin homogeeniseksi kuin koivuhake. Toistettavuustestit onnistuivat kuitenkin myös havuhakkeelle hyvin, koska hajonnat ovat pienet todella lähellä toisiaan. Samasta lopputuloksesta kertoo myös f-testi. Lisäksi variaatiokertoimetkin ovat pienet ja lähellä toisiaan.

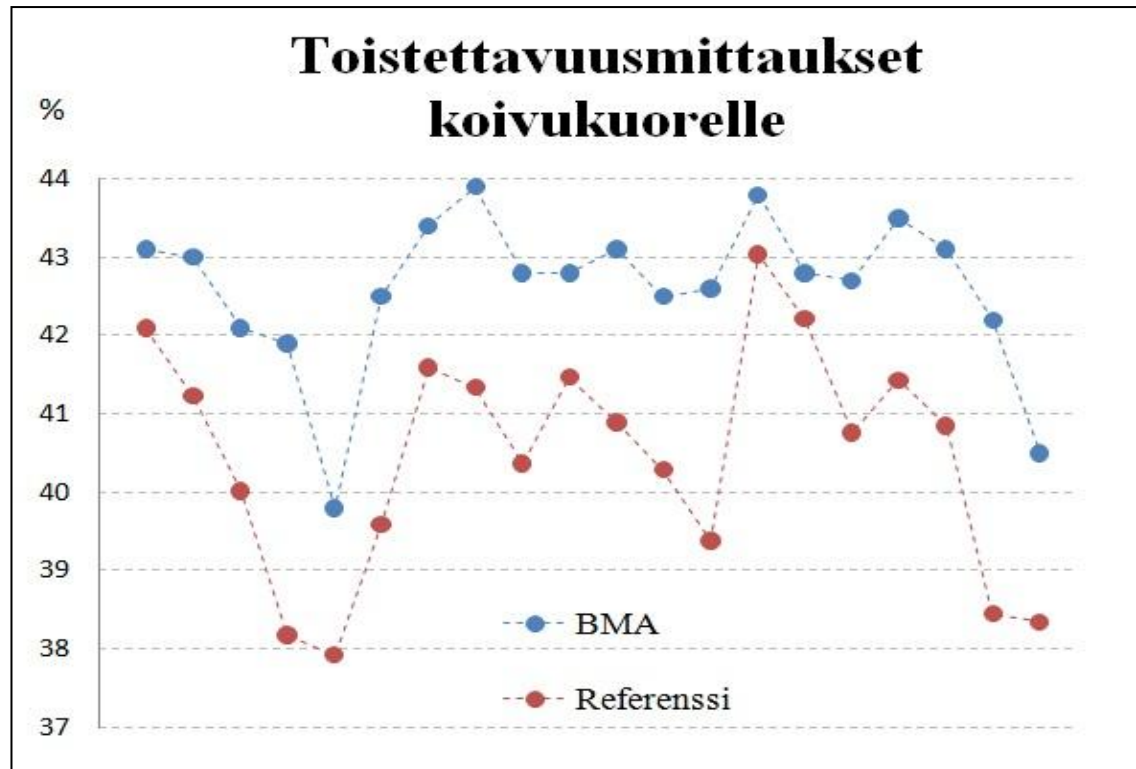
Standardin mukaisesti toistettavuustesti on tehty ainoastaan hakkeelle. Hakekasasta on otettu kolme kappaletta kymmenen näytteen sarjaa ja analysoitu ne kolmessa eri laboratorioissa. Variaatiokertoimiksi (prosentteina) saatiin 3, 2 ja 2. Näihin tuloksiin peilattuna toistettavuus oli havuhakkeelle hyvä molemmilla menetelmillä ja erittäin hyvä koivuhakkeelle. Standardi ei kerro tehtiinkö toistettavuustesti koivu- vai havuhakkeelle. (Scan-CM 39:94 1994, 2)

5.3.3 Toistettavuus koivukuorella

Koivukuorella tehtiin kosteusprosentin määrittämiä BMA- ja referenssimenetelmällä. Referenssimenetelmänä käytettiin standardin mukaista uunikuivausmenetelmää. Mittaukset tehtiin molemmilla menetelmällä 20:lle eri näytteelle (taulukko 11). Taulukon 11 mittaustulosten mukaan on tehty kuvio 12. Mittaustulokset ovat toisistaan riippumattomia ja kuviossa 12 ne on yhdistetty katkoviivalla ainoastaan seurattavuuden parantamiseksi.

TAULUKKO 11. Koivukuoren toistettavuustestin mittaustulokset pareittain BMA- ja referenssimenetelmällä

Näyte	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
BMA	43,1	43,0	42,1	41,9	39,8	42,5	43,4	43,9	42,8	42,8
Ref	42,1	41,2	40,0	38,2	37,9	39,6	41,6	41,3	40,4	41,5
Näyte	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
BMA	43,1	42,5	42,6	43,8	42,8	42,7	43,5	43,1	42,2	40,5
Ref	40,9	40,3	39,4	43,0	42,2	40,8	41,4	40,8	38,5	38,3



KUVIO 12. Koivukuoren toistettavuustestin mittaustulokset pareittain BMA- ja referenssimenetelmällä

Koivukuoren tilastolliset tunnusluvut:

Referenssimittausten keskiarvo	\bar{x}_{ref}	= 40,47
BMA-mittausten keskiarvo	\bar{x}_{BMA}	= 42,61
Referenssimittausten standardipoikkeama	s_{ref}	= 1,45
BMA-mittausten standardipoikkeama	s_{BMA}	= 0,99
Referenssimittausten variaatiokerroin	CoV_{ref}	= 3,57
BMA-mittausten variaatiokerroin	CoV_{BMA}	= 2,33
F-arvo	F	= 2,11
F-arvo taulukosta	$F_{19,19}$	= 2,53

Koivukuorella BMA-menetelmä antoi pienemmän standardipoikkeaman kuin referenssimenetelmä. Normaalisti se kertoisi siitä, että BMA-menetelmä saataisiin tarkemmat mittaustulokset. Tässä tapauksessa se ei välttämättä kuitenkaan kerro menetelmän tarkkuudesta, koska näyte on epähomogeenista. Luotettavammalla referenssimenetelmällä näytteiden vaihteluväli on noin viiden prosentin luokkaa.

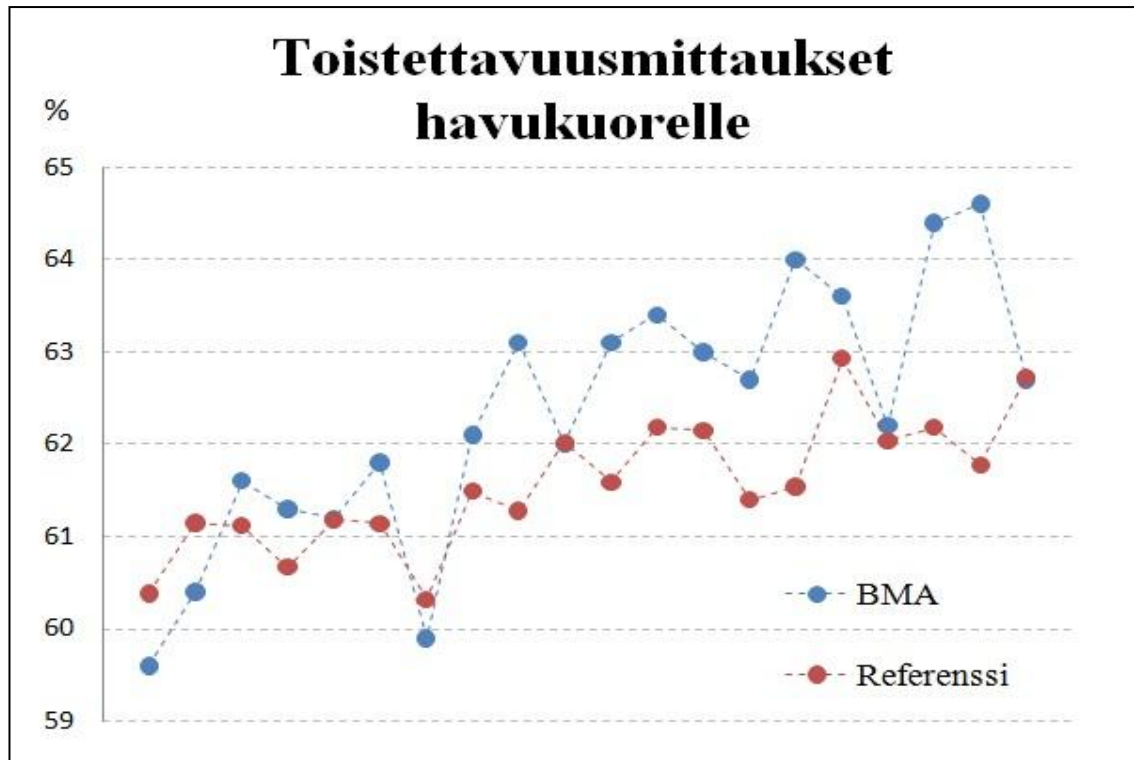
Menetelmien hajonnat ovat kuitenkin melko lähellä toisiaan, joten se kertoo siitä, että menetelmien välillä ei ole suurta eroa tällä näytetyypillä. F-testi osoittaa, että hajonnat ovat myös tilastollisesti riittävän lähellä toisiaan.

5.3.4 Toistettavuus havukuorella

Havukuorella tehtiin kosteusprosentin määrittämiä BMA- ja referenssimenetelmällä. Referenssimenetelmänä käytettiin standardin mukaista uunikuivausmenetelmää. Mittaukset tehtiin molemmilla menetelmällä 20:lle eri näytteelle (taulukko 12). Taulukon 12 mittaustulosten mukaan on tehty kuvio 13. Mittaustulokset ovat toisistaan riippumattomia ja kuviossa 13 ne on yhdistetty katkoviivalla ainoastaan seurattavuuden parantamiseksi.

TAULUKKO 12. Havukuoren toistettavuustestin mittaustulokset pareittain BMA- ja referenssimenetelmällä

Näyte	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
BMA	59,6	60,4	61,6	61,3	61,2	61,8	59,9	62,1	63,1	62,0
Ref	60,4	61,2	61,1	60,7	61,2	61,1	60,3	61,5	61,3	62,0
Näyte	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
BMA	63,1	63,4	63,0	62,7	64,0	63,6	62,2	64,4	64,6	62,7
Ref	61,6	62,2	62,2	61,4	61,5	62,9	62,0	62,2	61,8	62,7



KUVIO 13. Havukuoren toistettavuustestin mittaustulokset pareittain BMA- ja referenssimenetelmällä

Havukuoren tilastolliset tunnusluvut:

Referenssimittausten keskiarvo	\bar{x}_{ref}	= 61,57
BMA-mittausten keskiarvo	\bar{x}_{BMA}	= 62,34
Referenssimittausten standardipoikkeama	s_{ref}	= 0,70
BMA-mittausten standardipoikkeama	s_{BMA}	= 1,40
Referenssimittausten variaatiokerroin	CoV_{ref}	= 1,14
BMA-mittausten variaatiokerroin	CoV_{BMA}	= 2,24
F-arvo	F	= 3,98
F-arvo taulukosta	$F_{19,19}$	= 2,53

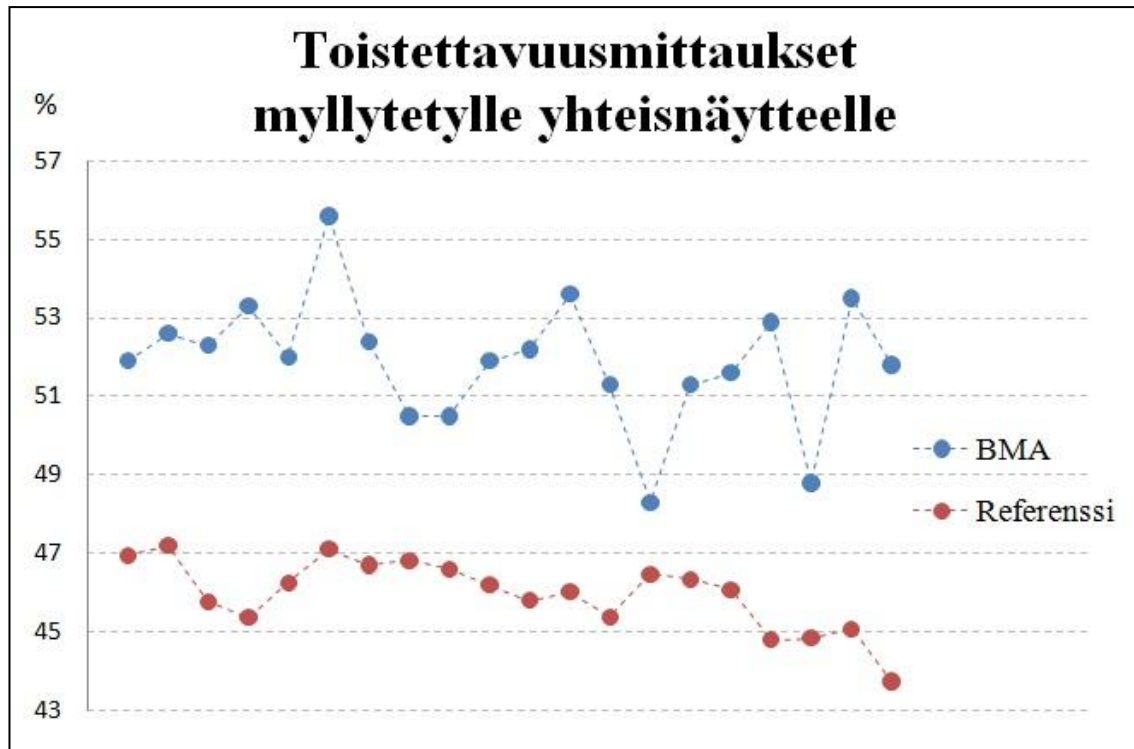
Silmämääräisesti havukuoren toistettavuusmittaukset näyttäisivät antavan kohtuullisen hyvän kuvan. Variaatiokertoimetkin ovat sopivan pieniä. Huonompi huomio on se, että BMA-menetelmällä keskihajonta on kaksi kertaa isompi kuin referenssimenetelmällä, vaikka toisaalta molemmat hajonnat ovat kohtalaisen pieniä. F-testi antaa tilastollisesti liian ison eron hajonnoille.

5.3.5 Toistettavuus homogenisoidulla yhteisnäytteellä

Homogenisoidulla yhteisnäytteelle tehtiin kosteusprosentin määrittäviä BMA- ja referenssimenetelmällä. Referenssimenetelmänä käytettiin standardin mukaista uunikuivausmenetelmää. Mittaukset tehtiin molemmilla menetelmällä 20:lle eri näytteelle (taulukko 13). Taulukon 13 mittaustulosten mukaan on tehty kuvio 14. Mittaustulokset ovat toisistaan riippumattomia ja kuviossa 14 ne on yhdistetty katkoviivalla ainoastaan seurattavuuden parantamiseksi.

TAULUKKO 13. Homogenisoidun yhteisnäytteen toistettavuustestin mittaustulokset pareittain BMA- ja referenssimenetelmällä

Näyte	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
BMA	51,9	52,6	52,3	53,3	52,0	55,6	52,4	50,5	50,5	51,9
Ref	47,0	47,2	45,8	45,4	46,3	47,1	46,7	46,8	46,6	46,2
Näyte	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
BMA	52,2	53,6	51,3	48,3	51,3	51,6	52,9	48,8	53,5	51,8
Ref	45,8	46,0	45,4	46,5	46,3	46,1	44,8	44,8	45,1	43,8



KUVIO 14. Homogenisoidun yhteisnäytteen toistettavuustestin mittaustulokset pareittain BMA- ja referenssimenetelmällä

Homogenisoidun yhteisnäytteen tilastolliset tunnusluvut:

Referenssimittausten keskiarvo	\bar{x}_{ref}	= 45,99
BMA-mittausten keskiarvo	\bar{x}_{BMA}	= 51,92
Referenssimittausten standardipoikkeama	s_{ref}	= 0,89
BMA-mittausten standardipoikkeama	s_{BMA}	= 1,63
Referenssimittausten variaatiokerroin	CoV_{ref}	= 1,94
BMA-mittausten variaatiokerroin	CoV_{BMA}	= 3,14
F-arvo	F	= 3,34
F-arvo taulukosta	$F_{19,19}$	= 2,53

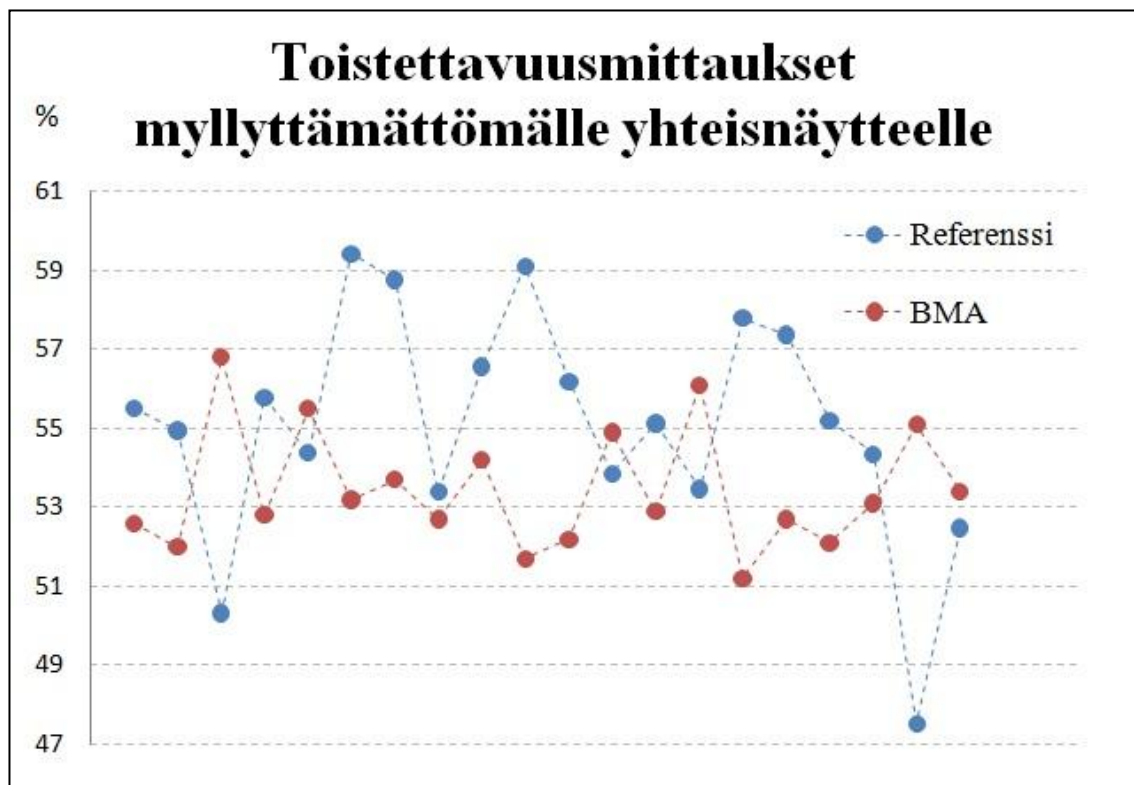
Referenssimenetelmä antaa toistettavuusmittauksilla melko hyvän tuloksen, mutta BMA-menetelmällä saadut tulokset ovat heikommat jo silmämääräisestikin. Samoin variaatiokerroin on kohtalainen referenssimenetelmällä, mutta ei niinkään BMA-menetelmällä. F-testi osoittaa tilastollisesti, että menetelmien välillä on hajontojen välillä liian iso ero.

5.3.6 Toistettavuus homogenisoimattomalla yhteisnäytteellä

Homogenisoimattomalle yhteisnäytteelle tehtiin kosteusprosentin määrittäviä BMA- ja referenssimenetelmällä. Referenssimenetelmänä käytettiin standardin mukaista uunikuivausmenetelmää. Mittaukset tehtiin molemmilla menetelmällä 20:lle eri näytteelle (taulukko 14). Taulukon 14 mittaustulosten mukaan on tehty kuvio 15. Mittaustulokset ovat toisistaan riippumattomia ja kuviossa 15 ne on yhdistetty katkoviivalla ainoastaan seurattavuuden parantamiseksi.

TAULUKKO 14. Homogenisoimattoman yhteisnäytteen toistettavuustestin mittaustulokset pareittain BMA- ja referenssimenetelmällä

Näyte	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
BMA	52,6	52,0	56,8	52,8	55,5	53,2	53,7	52,7	54,2	51,7
Ref	55,5	55,0	50,3	55,8	54,4	59,4	58,8	53,4	56,6	59,1
Näyte	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
BMA	52,2	54,9	52,9	56,1	51,2	52,7	52,1	53,1	55,1	53,4
Ref	56,2	53,8	55,1	53,5	57,8	57,4	55,2	54,3	47,5	52,5



KUVIO 15. Homogenisoimattoman yhteisnäytteen toistettavuustestin mittaustulokset pareittain BMA- ja referenssimenetelmällä

Homogenisoimattoman yhteisnäytteen tilastolliset tunnusluvut:

Referenssimittausten keskiarvo	\bar{x}_{ref}	= 55,08
BMA-mittausten keskiarvo	\bar{x}_{BMA}	= 53,45
Referenssimittausten standardipoikkeama	s_{ref}	= 2,90
BMA-mittausten standardipoikkeama	s_{BMA}	= 1,53
Referenssimittausten variaatiokerroin	CoV_{ref}	= 5,26
BMA-mittausten variaatiokerroin	CoV_{BMA}	= 2,86
F-arvo	F	= 3,61
F-arvo taulukosta	$F_{19,19}$	= 2,53

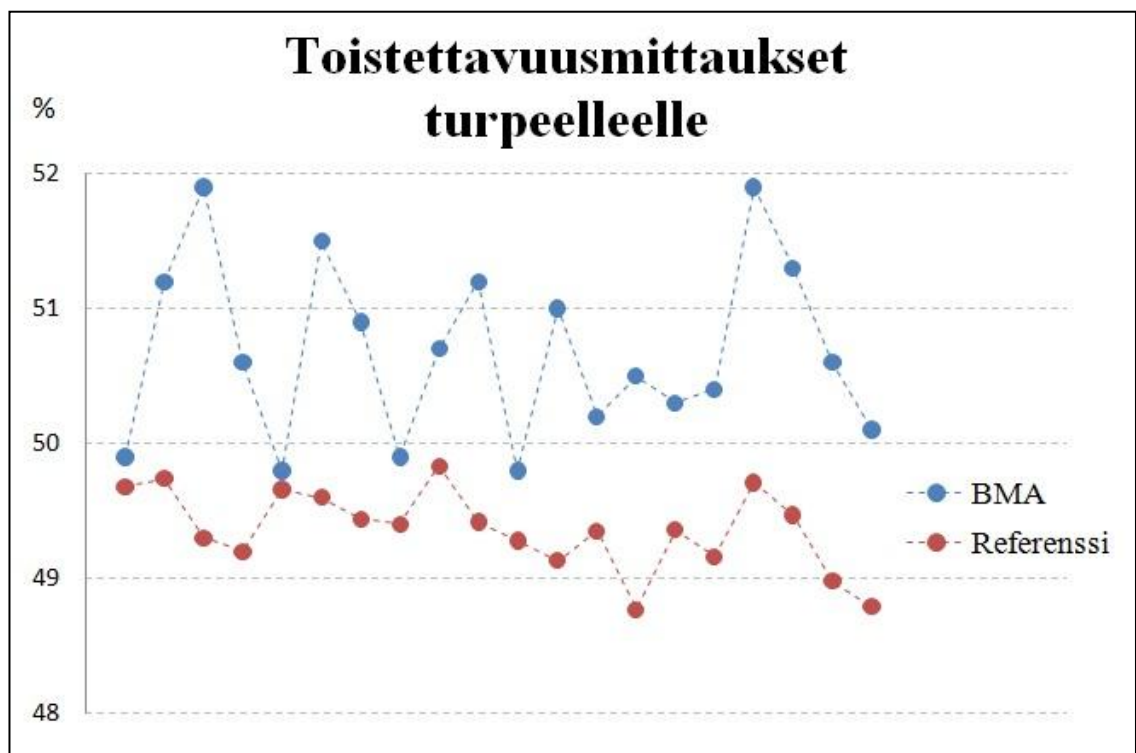
BMA- ja referenssimenetelmillä saatujen homogenisoimattoman yhteisnäytteen keskihajonnat ovat liian kaukana toisistaan, joten menetelmien välinen ero on liian suuri. Tilastollisessa mielessä f-testi osoittaa samaa. Suuri referenssimenetelmän variaatiokerroin kertoo näytteen epähomogeenisuudesta ja suuresta hajonnasta. Hieman yllättäen referenssimenetelmän hajonta on suurempi kuin BMA-menetelmän. Tähän saattaa olla syynä se, että lietettä on näytteissä satunnainen määrä, joten BMA-menetelmä ei välttämättä sovellu lietepitoisten näytteiden mittaamiseen.

5.3.7 Toistettavuus turpeella

Turpeelle tehtiin kosteusprosentin määrittämiä BMA- ja referenssimenetelmällä. Referenssimenetelmänä käytettiin standardin mukaista uunikuivausmenetelmää. Mittaukset tehtiin molemmilla menetelmällä 20:lle eri näytteelle (taulukko 15). Taulukon 15 mittaustulosten mukaan on tehty kuvio 16. Mittaustulokset ovat toisistaan riippumattomia ja kuviossa 16 ne on yhdistetty katkoviivalla ainoastaan seurattavuuden parantamiseksi.

TAULUKKO 15. Turpeen toistettavuustestin mittaustulokset pareittain BMA- ja referenssimenetelmällä

Näyte	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
BMA	49,9	51,2	51,9	50,6	49,8	51,5	50,9	49,9	50,7	51,2
Ref	49,7	49,7	49,3	49,2	49,7	49,6	49,4	49,4	49,8	49,4
Näyte	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
BMA	49,8	51,0	50,2	50,5	50,3	50,4	51,9	51,3	50,6	50,1
Ref	49,3	49,1	49,3	48,8	49,4	49,2	49,7	49,5	49,0	48,8



KUVIO 16. Turpeen toistettavuustestin mittaustulokset pareittain BMA- ja referenssimenetelmällä

Turpeen tilastolliset tunnusluvut:

Referenssimittausten keskiarvo	\bar{x}_{ref}	= 49,37
BMA-mittausten keskiarvo	\bar{x}_{BMA}	= 50,69
Referenssimittausten standardipoikkeama	s_{ref}	= 0,30
BMA-mittausten standardipoikkeama	s_{BMA}	= 0,66
Referenssimittausten variaatiokerroin	CoV_{ref}	= 0,61

BMA-mittausten variaatiokerroin	$CoV_{BMA} = 1,31$
F-arvo	$F = 4,88$
F-arvo taulukosta	$F_{19,19} = 2,53$

Toistettavuusmittauksissa turve osoittautui kaikista näytetyypeistä homogeenisimmaksi ja referenssimenetelmä tarkimmaksi hajonnan ja variaatiokertoimen osalta. BMA-menetelmä antaa myös pienen hajonnan ja variaatiokertoimen. BMA-menetelmän hajonta on kuitenkin yli kaksinkertainen referenssimenetelmään nähden ja myös f-testi sen osoittaa, joten tilastollisesti menetelmät eivät ole yhtä hyviä. Silmämääräisesti BMA-menetelmä vaikuttaisi kuitenkin olevan riittävän tarkka turpeen mittaamiseen, riippuen toki käytännön virhemarginaalista.

5.4 Homogenisoinnin merkitys mittaustuloksiin

Kuorinäytteet ja yhteisnäyte homogenisoidaan oksahakkurilla. Homogenisoinnin vaikutusta mittaustuloksiin haluttiin selvittää, koska se on ylimääräinen työvaihe näytteen valmistelussa. Laitetoimittajan toivomuksesta kuoret ja yhteisnäyte jouduttiin kuitenkin homogenisoimaan. Homogenisoinnin vaikutusta mitattiin molemmilla menetelmillä sekä koivukuorelle että yhteisnäytteelle. Yhteinen näyte-erä pyrittiin jakamaan mahdollisimman tasaisesti kahteen osaan. Puolet näyte-erästä homogenisoitiin ja puolet jätettiin homogenisoimatta. Homogenisoinnin tarkoituksena oli saada arvio siitä, onko homogenisointi välttämätön osa näytteen käsittelyä. Tuloksia tarkasteltaessa on syytä huomioida muihin mittauksiin verrattuna, että tulokset eivät ole pareittaisia vaan tuloksista voidaan analysoida lähinnä keskiarvojen ja hajontojen avulla.

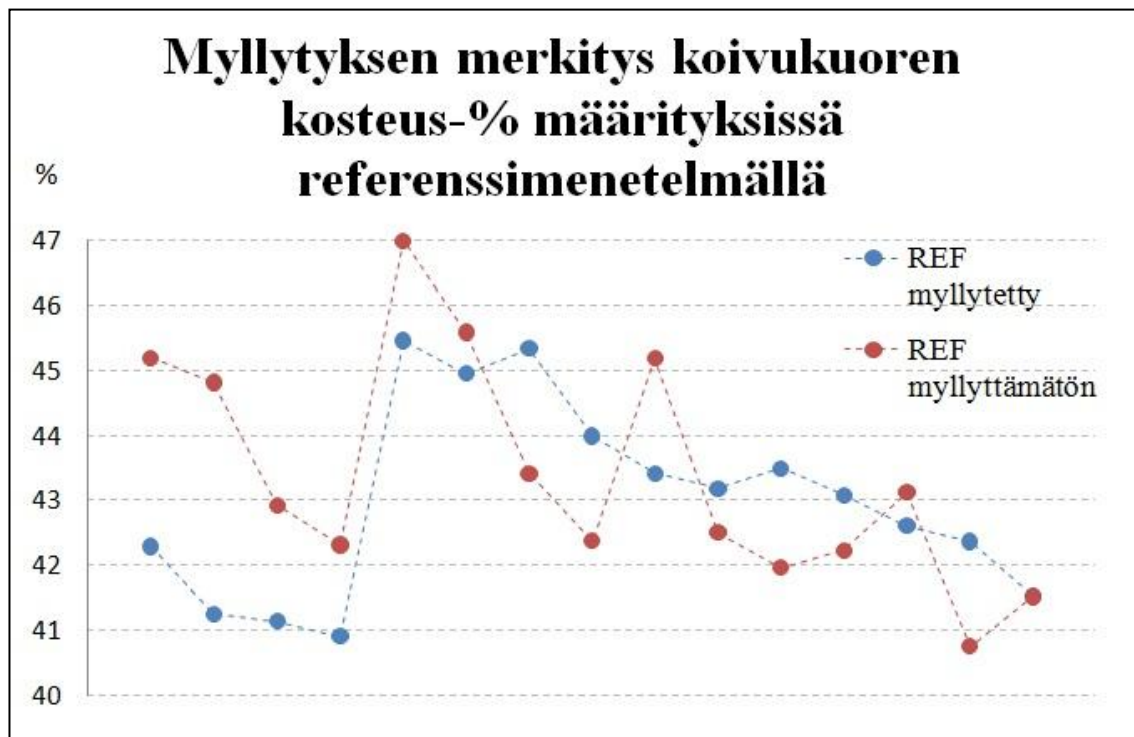
5.4.1 Homogenisoinnin merkitys koivukuorella ja referenssimenetelmällä

Koivukuorelle tehtiin kosteusprosentin määrittäviä homogenisoiduille ja homogenisoimattomille näytteille. Kosteusprosentit määritettiin referenssimenetelmällä. Referenssimenetelmänä käytettiin standardin mukaista uunikuivausmenetelmää.

Mittaukset tehtiin molemmille näytetyypeille 15:lle eri näytteelle (taulukko 16). Taulukon 16 mittaustulosten mukaan on tehty kuvio 17. Mittaustulokset ovat toisistaan riippumattomia ja kuviossa 17 mittaustulokset on yhdistetty katkoviivalla ainoastaan seurattavuuden parantamiseksi.

TAULUKKO 16. Homogenisoinnin merkitys koivukuoren kosteusprosentin määrittämisessä referenssimenetelmällä

Näyte	1	2	3	4	5	6	7	8
Homogenisoitu	42,3	41,3	41,1	40,9	45,5	45,0	45,3	44,0
Homogenisoimaton	45,2	44,8	42,9	42,3	47,0	45,6	43,4	42,4
Näyte	9	10	11	12	13	14	15	
Homogenisoitu	43,4	43,2	43,5	43,1	42,6	42,4	41,5	
Homogenisoimaton	45,2	42,5	42,0	42,2	43,1	40,8	41,5	



KUVIO 17. Homogenisoinnin merkitys koivukuoren kosteusprosentin määrittämisessä referenssimenetelmällä

Homogenisoinnin merkityksen tilastolliset tunnusluvut koivukuorelle:

Mittausten lukumäärä (homogenisoitu) $n = 15$

Mittausten lukumäärä (homogenisoimaton) $n = 15$

Mittausten keskiarvo (homogenisoitu)	$\bar{x}_1 = 43,01$
Mittausten keskiarvo (homogenisoimaton)	$\bar{x}_2 = 43,39$
Mittausten keskihajonta (homogenisoitu)	$s_1 = 1,49$
Mittausten keskihajonta (homogenisoimaton)	$s_2 = 1,76$
Vapausaste	$f = 28$
Taulukon mukainen t-arvo	$t = 2,05$, kun $f = 28$ ja $p = 5 \%$
Kaksisuuntainen t-testi	$t = 0,65$
F-testi	$f = 1,40$ (taulukkoarvo 2,98)

Referenssimenetelmä ei mittaustulosten mukaan erottele homogenisoituja ja homogenisoimattomia näytteitä. Molempien mittausten keskiarvot ja hajonnat ovat lähes yhtä suuret. Referenssimenetelmällä saatujen mittaustulosten t-testi ja f-testi antavat myös todella pienet t-arvot, joten tilastollisesti homogenisoinnilla ei ole merkitystä ja hajonnoissa eivät ole toisistaan poikkeavat.

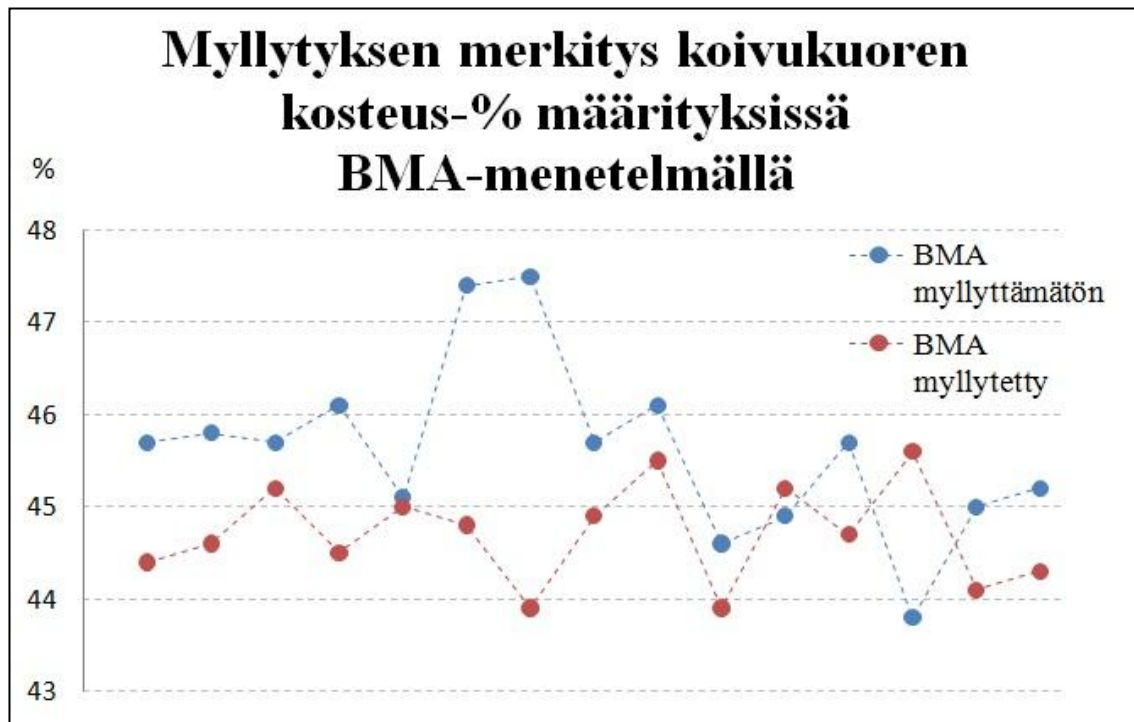
Homogenisoinnissa oksahakkuri aiheuttaa melko voimakasta ilmavirtausta, joka kuivattaa näytettä ja kosteusprosentti saattaa pienentyä sen vuoksi. Näyttäisi kuitenkin siltä, että ilmavirran vaikutus on vähäinen. Oksahakkurin terä ei kuumene homogenisoinnissa, joten se ei aiheuta näytteen kuivamista.

5.4.2 Homogenisoinnin merkitys koivukuorella ja BMA-menetelmällä

Koivukuorelle tehtiin kosteusprosentin määrittämiä homogenisoiduille ja homogenisoimattomille näytteille. Kosteusprosentit määritettiin BMA-menetelmällä. Mittaukset tehtiin molemmille näytetyypeille 15:lle eri näytteelle (taulukko 17). Taulukon 17 mittaustulosten mukaan on tehty kuvio 18. Mittaustulokset ovat toisistaan riippumattomia ja kuviossa 18 mittaustulokset on yhdistetty katkoviivalla ainoastaan seurattavuuden parantamiseksi.

TAULUKKO 17. Homogenisoinnin merkitys koivukuoren kosteusprosentin määrittämissä BMA-menetelmällä

Näyte	1	2	3	4	5	6	7	8
Homogenisoitu	44,4	44,6	45,2	44,5	45,0	44,8	43,9	44,9
Homogenisoimaton	45,7	45,8	45,7	46,1	45,1	47,4	47,5	45,7
Näyte	9	10	11	12	13	14	15	
Homogenisoitu	45,5	43,9	45,2	44,7	45,6	44,1	44,3	
Homogenisoimaton	46,1	44,6	44,9	45,7	43,8	45,0	45,2	



KUVIO 18. Homogenisoinnin merkitys koivukuoren kosteusprosentin määrittämissä BMA-menetelmällä

Homogenisoimattomuuden merkityksen tilastolliset tunnusluvut koivukuorelle:

Mittausten lukumäärä (homogenisoitu)	$n = 15$
Mittausten lukumäärä (homogenisoimaton)	$n = 15$
Mittausten keskiarvo (homogenisoitu)	$\bar{x}_1 = 44,71$
Mittausten keskiarvo (homogenisoimaton)	$\bar{x}_2 = 45,62$
Mittausten keskihajonta (homogenisoitu)	$s_1 = 0,54$
Mittausten keskihajonta (homogenisoimaton)	$s_2 = 0,96$
Vapausaste	$f = 28$

Taulukon mukainen t-arvo	$t = 2,05$, kun $f = 28$ ja $p = 5 \%$
Kaksisuuntainen t-testi	$t = 3,21$
F-testi	$f = 3,21$ (taulukkoarvo 2,98)

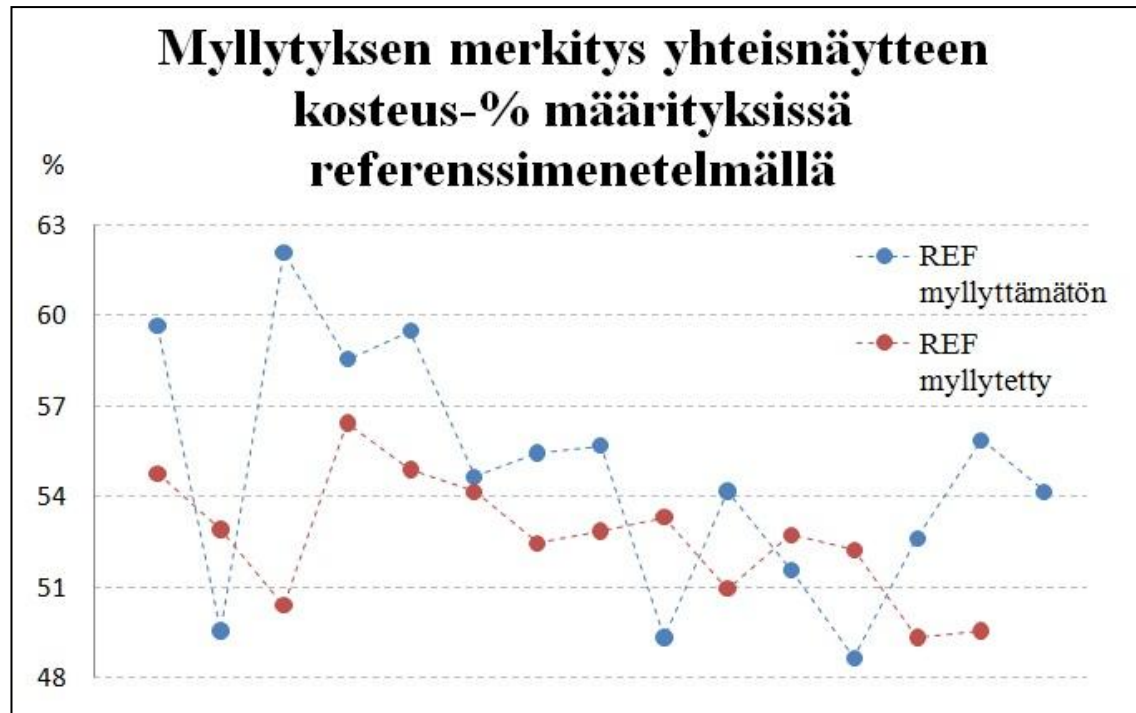
BMA-menetelmä antaa homogenisoiduille ja homogenisoimattomille näytteille huomattavasti pienemmät hajonnat kuin referenssimenetelmä. BMA-menetelmällä saadut hajonnat kuitenkin poikkeavat toisistaan lähes kaksinkertaisesti. T-testi ja f-testi antavat molemmat taulukkoarvoja vain vähän isommat arvot, joten tilastollisesti homogenisoinnilla on lievä merkitys koivukuoren kosteusprosenttien määrittämisessä BMA-menetelmällä.

5.4.3 Homogenisoinnin merkitys yhteisnäytteellä ja referenssimenetelmällä

Yhteisnäytteelle tehtiin kosteusprosentin määrittämiä homogenisoiduille ja homogenisoimattomille näytteille. Kosteusprosentit määritettiin referenssimenetelmällä. Referenssimenetelmänä käytettiin standardin mukaista uunikuivausmenetelmää. Mittauksia tehtiin molemmille näytetyypeille yhteensä 29:lle eri näytteelle (taulukko 18). Taulukon 18 mittaustulosten mukaan on tehty kuvio 19. Mittaustulokset ovat toisistaan riippumattomia ja kuviossa 19 mittaustulokset on yhdistetty katkoviivalla ainoastaan seurattavuuden parantamiseksi.

TAULUKKO 18. Homogenisoinnin merkitys yhteisnäytteen kosteusprosentin määrittämisessä referenssimenetelmällä

Näyte	1	2	3	4	5	6	7	8
Homogenisoitu	54,8	52,9	50,4	56,4	54,9	54,2	52,5	52,8
Homogenisoimaton	59,7	49,5	62,1	58,5	59,5	54,7	55,4	55,7
Näyte	9	10	11	12	13	14	15	
Homogenisoitu	53,3	51,0	52,7	52,2	49,3	49,5		
Homogenisoimaton	49,3	54,2	51,6	48,6	52,6	55,9	54,2	



KUVIO 19. Homogenisoinnin merkitys yhteisnäytteen kosteusprosentin määrittämissä referenssimenetelmällä

Homogenisoinnin merkityksen tilastolliset tunnusluvut yhteisnäytteelle:

Mittausten lukumäärä (homogenisoitu)	$n = 14$
Mittausten lukumäärä (homogenisoimaton)	$n = 15$
Mittausten keskiarvo (homogenisoitu)	$\bar{x}_1 = 52,64$
Mittausten keskiarvo (homogenisoimaton)	$\bar{x}_2 = 54,77$
Mittausten keskihajonta (homogenisoitu)	$s_1 = 2,07$
Mittausten keskihajonta (homogenisoimaton)	$s_2 = 4,04$
Vapausaste	$f = 27$
Taulukon mukainen t-arvo	$t = 2,05$, kun $f = 27$ ja $p = 5 \%$
Kaksisuuntainen t-testi	$t = 1,77$
F-testi	$f = 3,79$ (taulukkoarvo 2,95)

Referenssimenetelmällä homogenisoidut ja homogenisoimattomat näytteet antavat ison eron keskiarvossa ja hajonnassa. Homogenisoinnilla on siis todella iso merkitys yhteisnäytteen osalta. T-testin tulosta ei tässä kannata huomioida, koska t-testin

oletuksena on, että hajonnat eivät eroa toisistaan. F-testi kuitenkin osoittaa hajonnoilla eron tilastollisesti liian suureksi.

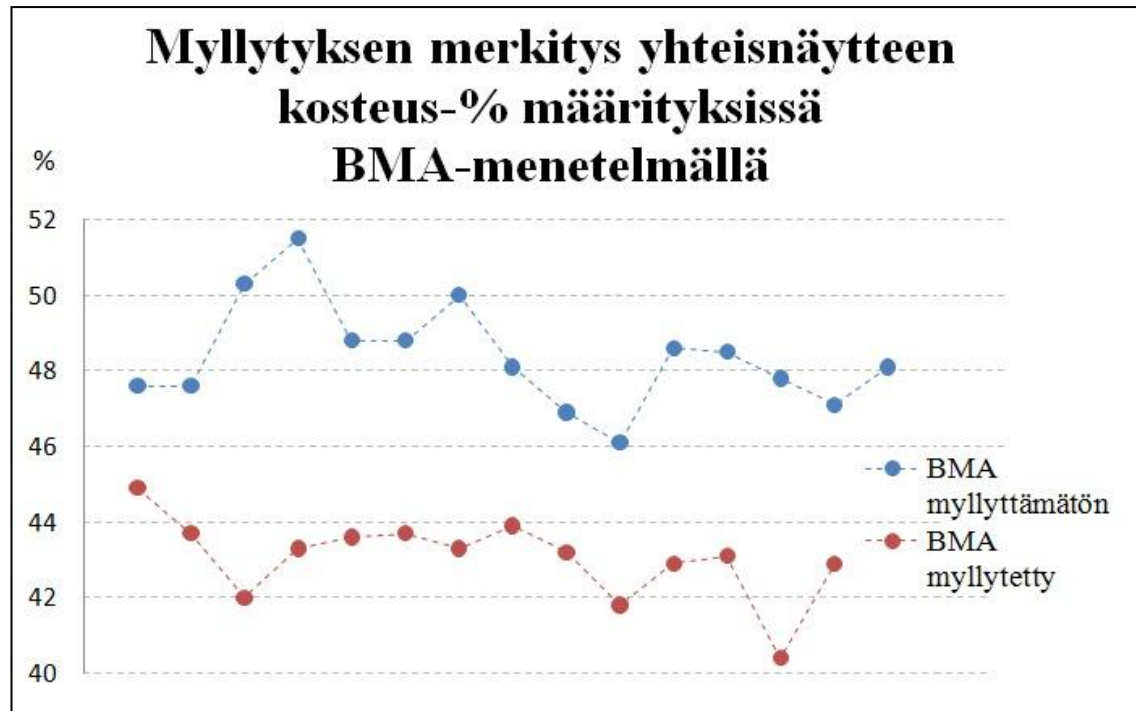
Homogenisoidulla näytteellä on keskiarvoltaan selvästi pienempi kosteusprosentti, koska kosteaa lietettä jäi oksahakkuriin jumiin isohkoja määriä ja se pienentää näytteen kokonaiskosteutta. Lietteen kosteusprosentti on yleensä noin 85 %. Homogenisoinnissa aiheutuva ilmavirta saattaa myös pienentää kosteusprosenttia. Täytyy kuitenkin huomioida, että koivukuoren osalta homogenisointi ei pienentänyt kosteusprosenttia kuin muutaman kymmenyksen, joten suurin ero tulee todennäköisesti lietteen jäämisestä oksahakkuriin.

5.4.4 Homogenisoinnin merkitys yhteisnäytteellä ja BMA-menetelmällä

Yhteisnäytteelle tehtiin kosteusprosentin määrittämiä homogenisoiduille ja homogenisoimattomille näytteille. Kosteusprosentit määritettiin BMA-menetelmällä. Mittauksia tehtiin molemmille näytetyypeille yhteensä 29:lle eri näytteelle (taulukko 19). Taulukon 19 mittaustulosten mukaan on tehty kuvio 20. Mittaustulokset ovat toisistaan riippumattomia ja kuviossa 20 mittaustulokset on yhdistetty katkoviihvalla ainoastaan seurattavuuden parantamiseksi.

TAULUKKO 19. Homogenisoinnin merkitys yhteisnäytteen kosteusprosentin määrittämisessä BMA-menetelmällä

Näyte	1	2	3	4	5	6	7	8
Homogenisoitu	44,9	43,7	42,0	43,3	43,6	43,7	43,3	43,9
Homogenisoimaton	47,6	47,6	50,3	51,5	48,8	48,8	50,0	48,1
Näyte	9	10	11	12	13	14	15	
Homogenisoitu	43,2	41,8	42,9	43,1	40,4	42,9		
Homogenisoimaton	46,9	46,1	48,6	48,5	47,8	47,1	48,1	



KUVIO 20. Homogenisoinnin merkitys yhteisnäytteen kosteusprosentin määrittämissä BMA-menetelmällä

Homogenisoimattomuuden merkityksen tilastolliset tunnusluvut yhteisnäytteelle:

Mittausten lukumäärä (homogenisoitu)	$n = 14$
Mittausten lukumäärä (homogenisoimaton)	$n = 15$
Mittausten keskiarvo (homogenisoitu)	$\bar{x}_1 = 43,05$
Mittausten keskiarvo (homogenisoimaton)	$\bar{x}_2 = 48,39$
Mittausten keskihajonta (homogenisoitu)	$s_1 = 1,08$
Mittausten keskihajonta (homogenisoimaton)	$s_2 = 1,39$
Vapausaste	$f = 27$
Taulukon mukainen t-arvo	$t = 2,05$, kun $f = 27$ ja $p = 5 \%$
Kaksisuuntainen t-testi	$t = 11,46$
F-testi	$f = 1,66$ (taulukkoarvo 2,95)

BMA-menetelmällä (yhteisnäytteellä) homogenisoidut ja homogenisoimattomat näytteet antavat mittaustuloksissa todella ison ero, joka on keskiarvolla mitattuna yli viisi prosenttia. Hajonnat ovat kuitenkin lähes yhtä suuria. Molemmat näytetyypit

antavat siis yhtä tarkkoja tuloksia, mutta homogenisoinnin vaikutus korostuu BMA-menetelmällä mitattaessa.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Kalibrointisuorat eri biomateriaaleille tehtiin pääosin oletusten perusteella, koska laitevalmistajalla ei ollut paljoa aikaisempaa kokemusta epähomogeenisten biomateriaalien kalibroinneista. Kalibrointisuorat vaikuttivat aluksi onnistuneen hyvin, jos tarkastellaan niitä selityskertoimien avulla. Kaikilla näytetyypeillä oli todella hyvät selityskertoimet. Seurantatulokset kuitenkin osoittivat, että kalibrointisuorat eivät olleet ihan kohdillaan, joten kaikkien näytetyyppien kalibrointisuoraa jouduttiin erikseen virittämään tarkempien mittaustulosten saamiseksi. Siitä huolimatta, että alkuperäiset kalibrointisuorat vaativatkin viritystä, antoivat ne melko nopeasti suuntaa antavan kalibroinnin kaikille näytetyypeille ja projektissa päästiin helposti etenemään.

Suurimpana syynä kalibrointisuorien virituksen tarpeeseen oli se, että mittaukset kalibrointisuoraa varten tehtiin aina yhdelle näytteelle yhtenä hetkenä otetusta isosta näytemäärästä. Seurantamittauksien aikana mitattavat näytteet eivät kuitenkaan aina olleet koostumukseltaan samanlaista näytetyyppiä kuin alkuperäisen kalibroinnin aikana, joten BMA-analysoija reagoi niihin eri tavalla ja antoi kalibrointisuorasta poikkeavia mittaustuloksia. Esimerkiksi kuorinäytteet saattavat sisältää erilaisia määriä kuorta ja puumateriaalia kuorintahetkestä riippuen ja yhteisnäytteet saattavat sisältää hyvinkin erilaisia määriä lietettä lietteensyötöstä riippuen.

Toinen mahdollinen syy saattoi olla se, että alkuperäisen kalibrointisuoran tekemiseen vaadittiin iso kosteuden vaihteluväli, jota kalibrointisuoran tekemiseen käytettävä näyte ei luonnostaan sisältänyt. Tämän vuoksi näytteitä jouduttiin keinotekoisesti kuivattamaan kuivausuunissa, jotta näytteille saatiin erisuuruisia kosteusprosentteja. Kuivausuunissa näytteitä kuivattiin alumiinivuoassa, jolloin näyte kuivui epätasaisesti. Pinnalta näyte saattoi olla hyvinkin kuivaa ja toisaalta astian pohjalla vielä kosteaa. BMA-analysoija saattaa antaa virheellisen tuloksen, jos näyte sisältää kosteudeltaan hyvin erilaisia näytejakeita.

Näytteitä yritettiin myös kostuttaa keinotekoisesti, mutta jo alkuvaiheessa kävi selväksi, että näytteet imivät vettä melko huonosti. BMA-analysoija reagoi huonosti ja melko epäluotettavasti sellaisiin näytteisiin, joissa kosteutta oli imeytynyt vain pinnalle.

Näytteiden keinotekoisesta kostuttamisesta luovuttiin näiden syiden vuoksi jo aikaisessa vaiheessa.

Kalibrointisuorien viritystä varten jokaiselle näytetyypille tehtiin seurantamittauksia, joiden perusteella kalibrointisuoria viritettiin. Viritettyjen kalibrointisuorien toivottiin olevan jo todella lähellä lopullisia kalibrointisuoria, joiden mukaan BMA-analysaattorin todellista hyödynnettävyyttä ja luotettavuutta voitaisiin alkaa arvioimaan. Viritetytkään kalibrointisuorat eivät kuitenkaan osoittautuneet vielä lopullisiksi ja moni näytetyyppi sisälsi selvää systemaattista virhettä edelleen. Mahdollisena syynä tähän saattoi olla se, että kalibrointisuorien virityksessä käytettiin lähes aina melkein kaikkia alkuperäisen kalibrointisuoran mittaustuloksia. Tämän vuoksi alkuperäinen kalibrointisuora ei virittynyt tarpeeksi kohdilleen.

Inhimillisen virheen määrää voisi pitää melko vähäisenä, koska BMA-analysaattoria on helppo ja varma käyttää. Uunikuivausmenetelmäkin on yksinkertainen ja melko tarkka. Pientä virhettä saattaa syntyä näytteen punnituksessa ja erityisesti kuumana punnituksessa, jolloin kuuma ja täysin kuiva näyte alkaa lähes välittömästi imeä kosteutta huoneilmasta. Kuuma näyte myös aiheuttaa jonkin verran nostetta vaa'alla. Virhetekijät uunikuivauksessa ovat kuitenkin vähäisiä eivätkä ne vaikuta oleellisesti, etenkin kun kosteusprosentit ilmoitetaan yhden desimaalin tarkkuudella.

Homogenisoinnin merkitystä arvioidessa voidaan sanoa, että koivukuoren homogenisoinnilla ei ole kovin isoa merkitystä uunikuivauskuivausmenetelmällä eikä myös BMA-analysaattorilla saaduissa mittaustuloksissa. Molemmilla menetelmillä saaduissa mittaustuloksissa keskiarvot ovat melko lähellä toisiaan ja hajonnat pieniä. Homogenisoinnin merkitystä ei tutkittu ajan puutteen vuoksi havukuorille. Oma arvioni on, että havukuoret vaativat näytteen homogenisointia. Yhteisnäytteen analysointi onkin vähän hankalampi, koska homogenisoinnissa käytetty oksahakkuri ei soveltunut kosteusprosentiltaan suuren yhteisnäytteen homogenisointiin. Oksahakkurin syöttöputki jopa tukkeutui kerran näytettä syötettäessä ja joka kerralla lietepitoista materiaalia jäi runsaasti hakkurin terän ympärille ja joka puolelle laitteen reunoihin. Oksahakkuri soveltui siis kuorien homogenisointiin, mutta ei lietepitoiselle materiaalille. Turve on itsessään niin hienojakeista, että sitä ei tarvitse homogenisoida.

Koivuhakkeiden mittausparien eroarvot viritetyllä kalibrointisuoralla ovat vähän liian isot hyödynnettävyyden kannalta, mutta hajonta on pieni. Eroarvot osoittavat kuitenkin selvää systemaattista virhettä, joten onnistuneesti tehdyllä kalibrointisuoran virityksellä tämä systemaattinen virhe olisi helppo korjata. Virityksen jälkeen BMA-menetelmää voisi pitää hyvinkin soveltuvana menetelmänä koivuhakkeelle. Havuhakkeiden mittausparien eroarvot ovat pienet ja niillä on myös pieni hajonta. BMA-menetelmää voisi pitää nyt jo soveltuvana havuhakkeen mittaamiseen, vaikka pientä systemaattista virhettä esiintyykin. Havuhakkeenkin kalibrointisuora kaipaa pientä lisäviritystä, vaikka se on jo paremmin kohdillaan kuin koivuhakkeen. BMA-mittaamenetelmän voidaan siis sanoa soveltuvan yksittäisten näytteiden kosteusprosentin mittaukseen.

Koivukuorella on vähän systemaattista virhettä, jonka kalibrointisuoran pieni korjaus poistaisi. Koivukuorelle on mahdotonta saada yhtä kalibrointisuoraa, joka antaisi täysin oikean tuloksen joka kerta. Tämä johtuu siitä, että kalibrointisuora on täydellinen vain sellaiselle näytteelle, jossa on juuri tietty määrä tuohta ja puumateriaalia. Havukuorella tulokset ovat selkeästi heikompia kuin koivukuorella, koska havukuorinäytteet ovat epähomogeenisempia kuin koivukuorinäytteet. Havukuoren mittaustuloksista voidaan myös havaita, että kuusi- ja mäntykuori tarvitsevat ehdottomasti oman kalibrointisuoransa. BMA-menetelmä ei sovellu kuoren yksittäisen näytteen tarkkaan kosteusprosentin mittaamiseen, mutta kalibrointisuorasta voidaan kuitenkin saada sellainen, että pitkällä aikavälillä (1 kk) keskiarvo on todennäköisesti hyvinkin lähellä uunikuivauksella saatua todellista arvoa.

Tuloksista voidaan selkeästi päätellä, että BMA-menetelmä ei sovellu yhteisnäytteiden kosteusprosenttien mittaamiseen. Yksi syy on se, että jokainen näytetyyppi vaatii oman kalibrointisuoransa. Toinen isompi syy on kuitenkin se, että BMA-kosteusanalysaattori ei sovellu lietteen mittaamiseen sen suuren kosteuspitoisuutensa vuoksi. BMA-analysaattoria ei siis voida käyttää yksittäisten näytteiden mittaamiseen eikä myöskään pitkällä aikavälillä saadut tulokset ole luotettavia.

Suurin osa turpeen BMA-kosteusanalysaattorilla saaduista mittaustuloksista on lähellä uunikuivausmenetelmällä saatuja mittaustuloksista. Ongelman aiheuttaa kuitenkin se, että turvenäytteet ovat koostumukseltaan joskus erilaisia ja se aiheuttaa ongelmia BMA-analysaattorin mittaustuloksissa. BMA-analysaattori ei ole soveltuva yksittäisen turve-

näytteen luotettavaan analysointiin, mutta pitkällä aikavälillä keskiarvo saataisiin todennäköisesti melko lähelle uunikuivausmenetelmällä saatua keskiarvoa.

Toistettavuusmittauksissa tulosten arviointi on analysoijasta riippuvainen, koska näytetyyppien epähomogeenisuudesta johtuen näytteille ei standardeissa ole määritelty toistettavuusrajoja. Koivu- ja havuhakkeille molemmat menetelmät osoittautuivat soveltuviksi ja selkeästi yhtä luotettaviksi. Kuorinäytteillä menetelmien välinen ero toistettavuudessa oli isompi kuin hakkeilla. Koivukuorella toistettavuustulokset olivat siedettävät, mutta havukuorella ne olivat juuri ja juuri halutuissa rajoissa, analysoijasta riippuen. Yhteisnäytteiden toistettavuustulosten perusteella menetelmät eivät ole yhtä luotettavia. Turpeelle toistettavuustulokset antoivat hyvät tulokset.

Laittevalmistajaa voisi haastaa pohtimaan heidän halukkuutta panostaa kalibrointisuorien nopeaan ja varmaan käyttöönottoon ja erityisesti epähomogeenisten biomateriaalien kosteuden mittaamiseen. Homogeenisille biomateriaaleille, kuten hakkeelle, BMA-kosteusanalyssaattori on selkeästi kilpailukykyinen menetelmä, mutta tulevaisuudessa myös muiden näytetyyppien kosteuden määrittämisessä on markkinoilla varmasti kysyntää. Kalibrointisuorien ja niiden viritys on laitteen hankkijalle tärkeä tekijä. Laitteen hankkija ei välttämättä haluaisi olla riippuvainen laittevalmistajasta kalibrointisuorien virittämisessä vaan haluaisi tehdä sen itsenäisesti. Viritystä varten laittevalmistaja voisi panostaa yksinkertaisen ohjelmiston tekemiseen, jolla viritys tapahtuisi nopeasti ja vaivattomasti.

Toistettavuusmittausten perusteella mittausmenetelmänä BMA-kosteusanalyssaattoria voidaan hyödyntää hakkeiden, kuorien ja turpeen kosteusmäärittämisessä, mutta ei lietettä sisältäville näytetyypeille. Kuorille ja turpeelle se ei kuitenkaan sovellu yksittäisen näytteen kosteuden mittaamiseen, mutta pitkän aikavälin mittauksissa se on soveltuva. Tällaiseen käyttötarkoitukseen olisi soveltuva käyttää on-lineanalyssaattoria. Laittevalmistajalla onkin jo kehittänyt on-lineanalyssaattorin, mutta se on vielä testausvaiheessa. On-lineanalyssaattori sopisi hyvin esimerkiksi kuorien kuukausittaisen keskiarvon määrittämisessä. Hakkeille on-lineanalyssaattori sopisi päivittäisiin määrittämiin todella hyvin.

7 JATKOTOIMENPITEET

BMA-kosteusanalysointilaitteiden käyttöä voisi edistää hankkimalla laitevalmistajalta ennalta sovittuun myyntihintaan. Laboratorioanalysointilaitteiden käyttö on helppo asentaa ja käyttää. Valvomon käyttömiehet voisivat itsenäisesti tehdä kosteusmäärityksiä ja vähentää laboratoriohenkilöiden työkuormaa. Käyttö ei vaadi muuta kuin näytteen punnituksen ja sen jälkeen analysointilaitteiden antama mittaus tulokset muutamassa sekunnissa. Uunikuivausmenetelmällä punnitusta tarvitaan useampia ja näytettä on kuivattava lähes täyden vuorokauden kuivausuunissa.

Laboratorioanalysointilaitteiden käyttöä voisi käyttää myös kuorien ja turpeen määrityksiin, jos ne myydään kuukausikeskiarvojen perusteella. Kuorien yhteydessä analysointilaitteiden varten olisi kuitenkin tehtävä kuusikuorelle oma kalibrointisuora. Kuorien yhteydessä laite nopeuttaisi kosteusmääritysten tekemistä samalla tavalla kuin hakkeellakin ja lisäksi vaivalloinen ja raskas yhteisnäytteiden sekoitustarve uunikuivausta varten poistuisi. Lisäksi kuorinäytteille voisi tehdä useita päiväkohtaisia määrityksiä päivittäin, koska analysointilaitteiden käyttö on niin helppo ja nopea käyttää. Samalla se lisäisi kuukausikeskiarvon todenmukaisuutta. Turpeen osalta laitevalmistajaa tulisi konsultoida, jos myös turpeelle olisi syytä tehdä toinenkin kalibrointisuora. Se lisäisi huomattavasti kuukausittaisen keskiarvon tarkkuutta. Tämän työn puitteissa turvenäytteiden erilaiset koostumukset jäivät hieman mietityttämään.

Kuoria analysoitaessa näytteet aina homogenisoitiin laitevalmistajan toivomuksesta. Kuitenkin koivukuorien homogenisoinnin merkitystä tutkittaessa todettiin, että homogenisoinnilla oli vain lievää merkitystä tuloksiin. Havukuorille homogenisoinnin merkitystä ei tutkittu, joten jos kosteusanalysointilaitteiden hankitaan laboratorioon, on havukuorille tehtävä samanlainen tutkimus kuin koivukuorille. Havukuoret vaativat homogenisointia todennäköisemmin kuin koivukuoret. Mielestäni koivukuoria ei tarvitse välttämättä homogenisoida, jos tuloksia käytetään kuukausittaisiin keskiarvoihin, koska kosteusmäärityksiä voidaan tehdä monta päivässä. Loppukädessä kyse on kuitenkin asiakkaan vaatimasta tarkkuudesta. Analysointilaitteiden saatava nopean määrityksen hyöty pienenee huomattavasti, jos koetaan, että kuoret tulee homogenisoida.

Laitteen käyttöönottoa varten laaditaan toimintaohje. Toimintaohjeessa kerrotaan miten laitetta käytetään ja miten kalibroinnin pysyvyyttä ja oikeellisuutta seurataan. Kalibroinnin pysyvyyttä ja oikeellisuutta tulisi seurata aluksi vähintään pari kertaa viikossa vertailemalla BMA-kosteusanalysointilaitteelta saatuja tuloksia uunikuivausmenetelmällä saatuihin tuloksiin. Myöhemmin, jos kalibrointisuora ei vaadi lisäviritystä, voidaan seuranta vähentää esimerkiksi yhteen kertaan viikossa.

Parhaat tulokset kuitenkin saataisiin, jos hakkeelle hankittaisiin heti tai joskus myöhemmin on-lineanalysointilaitte. Se antaisi reaaliaikaisen ja parhaan tuloksen nesteosuuden säätöön. On-lineanalysointilaitteella saavutettaisiin myös paras taloudellinen hyöty. Sen toimintaperiaate on sellainen, että se toimisi myös jäisille hakkeille, koska se jauhaa ja sulattaa näytteen ennen kosteuden määrittämistä.

Äänevoiman kanssa käytävälle kuorikaupalle on-lineanalysointilaitte olisi myös paras vaihtoehto. Molemmille kuorilinjoille voitaisiin asentaa oma on-lineanalysointilaitte. Lietteelle voisi hankkia samalta laitetuottajalta oman on-lineanalysointilaitteen, koska liete on liian kostea BMA-menetelmälle. Senfit Oy on kehittänyt myös BSA-analysointilaitteen (Biosolids Analyzer), joka on rakenteeltaan BMA-analysointilaitetta kevyempi ja on nimeltään lietteelle kehitetty. Sen käyttökokemukset ovat lähinnä kunnallispuolen puhdistamolaitoksilta. Hinnaltaan BSA-analysointilaitte on BMA-analysointilaitetta edullisempi eikä tälle menetelmälle taida juurikaan kaupallista kilpailijaa olla (vuonna 2011).

On-lineanalysointilaitte antaisi hyvän kuukausittaisen keskiarvon Äänevoimalle myytävälle kuorelle, jos kalibrointisuora saataisiin viritettyä oikein ja se pysyisi kohdillaan. Laitetuottajan mukaan kalibrointisuorat ovat pysyneet hyvin kohdillaan. Viritetyksen pysyvyydelle ja oikeellisuuden varmistamiseksi olisi kuitenkin tehtävä vertailua kuivausuunilla saataviin referenssituloksiin samalla tavalla kuin laboratorioanalysointilaitteen yhteydessäkin. Vertailua tulisi tehdä alussa muutaman kerran viikossa ja myöhemmin esimerkiksi kerran viikossa.

LÄHTEET

- Elektrobit Oyj. 2011. [www-sivu]. Luettu 1.7.2011.
http://www.elektrobit.fi/news-1409-220-eb_elektrobit_oyj_myy_mikroaloteknologiaan_perustuvien_mittalaitteiden_ja_ratkaisujen_kehittamiseen_liittyvan_liiketoiminnan_senfit_oylle
- FINBIO. 1998. Puupolttoaineiden laatuohje. Julkaisu 5. ISSN 1239-4874.
- Haaranen, V. 2011. Oy Metsä-Botnia Ab Äänekoski, liiketoiminnan kehittäminen. Opinnäytetyön valvoja. Haastattelu 1.5.2011. Haastattelija Hautakorpi, J.
- Jantunen, P. 2005. Päättäjien Metsäakatemia. Sopuisaa rinnakkaiseloä Äänekosken tehdasintegraatissa. [PDF-tiedosto]. Luettu 1.7.2011.
[http://www.forest.fi/smy/Materiaalitdeve.nsf/allbyid/93A0B478B25FEA63C22570AE002FF78A/\\$file/PMA20-PetriJantunen.pdf](http://www.forest.fi/smy/Materiaalitdeve.nsf/allbyid/93A0B478B25FEA63C22570AE002FF78A/$file/PMA20-PetriJantunen.pdf)
- Kautto, S. 2011. Oy Metsä-Botnia Ab Äänekoski. Vahvaa kuituosaamista. Luettu 1.7.2011. Botnian sisäinen tietokanta, MBTK #33423.
- Marjanen, J. J. (toim.), Mäkinen, I., Niemi, R., Saares, R. & Suortti, A-M. 1996. Ohjeita ympäristönäytteiden kemiallisten analyysimenetelmien validointiin. Suomen ympäristökeskus.
- Miller, J. C. & Miller, J. N. 1993. Statistics for Analytical Chemistry. Third Edition. Chichester: Ellis Horwood Limited.
- Nyfors, E. 2000. Cylindrical Microwave Resonator Sensors for Measuring Materials Under Flow. Helsinki University of Technology. Department of Electrical and Communications Engineering, Espoo. Doctoral Thesis.
- Nyfors, E. & Vainikainen, P. 1989. Industrial Microwave Sensors. Norwood: Artech House, Inc.
- Nyman, M. 2010. Äänevoima Oy. Kiinteän polttoaineen energiasisällön selvittäminen. Botnian sisäinen tietokanta, MBTK-30553.
- Oksahakkuri. 2011. [www-sivu]. Luettu 1.7.2011.
www.premium-rasenmaeher-shop.de/VIKING-GE-260-S-Elektro-Haecksler
- Oy Metsä-Botnia Ab. 2011a. Tehdaskaaviot. [PPT-tiedosto]. Luettu 1.7.2011. Botnian sisäinen tietokanta, MBAKI3-#311376-v3
- Oy Metsä-Botnia Ab. 2011b. Tuotantolaitokset. [www-sivu]. Luettu 1.7.2011.
<http://www.botnia.fi/Botnia/Tuotantolaitokset/Pages/aanekoski.aspx>
- Oy Metsä-Botnia Ab. 2011c. Vuosiraportti 2010. [PDF-tiedosto]. Luettu 1.7.2011.
<http://www.botnia.fi/Media/Material%20Archive/Botnia-vuosiraportti-2010.pdf>

Rantanen, J. 2011. Oy Metsä-Botnia Ab Äänekoski, vuoroinsinööri. Haastattelu 1.7.2011. Haastattelija Hautakorpi, J.

Saarela. 2010. Kainuun Sanomat Torstai 25. helmikuuta 2010. Talous. B1. Tulos muutamassa sekunnissa.

Scan-G 2:07. 2007. Scandinavian Pulp, Paper and Board Testing Committee. Koetulosten tilastollinen käsittely.

Scan-CM 39:94. 1994. Scandinavian Pulp, Paper and Board Testing Committee. Massanvalmistuksessa käytettävä hake. Kuiva-ainepitoisuus.

Seppälä, M. (toim.), Klemetti, U., Kortelainen, V-A., Lyytikäinen, J., Siitonen, H. & Sironen, R. 2002. Kemiallinen metsäteollisuus I. Paperimassan valmistus. 2-1 painos. Saarijärvi: Gummerus kirjapaino Oy.

SFS-EN 14774-1. 2010. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Solid biofuels. Determination of moisture content. Oven dry method. Part 1: Total moisture. Reference method.

Senfit Oy. 2011. [www-sivu]. Luettu 1.7.2011.
<http://www.senfit.com/>

Tiede. 2011. Suomalainen tiedelehti. [www-sivu]. Luettu 1.7.2011.
<http://www.tiede.fi/keskustelut/kemia-fysiikka-ja-matematiikka-f3/keskihajonnan-kasitteesta-t3494.html>

Vapoviesti. 2011. Vapo-konsernin asiakaslehti. [www-sivu]. Luettu 1.7.2011.
<http://www.vapoviesti.fi/index.php?id=1186&articleId=11&type=2>

Vuolteenaho, M. 2011. Senfit Oy, asiantuntija. Haastattelu 1.6.2011. Haastattelija Hautakorpi, J.

VTT / Prowledge Oy. 2009a. KnowPulp versio 8.0. Puun vastaanotto.

VTT / Prowledge Oy. 2009b. KnowPulp versio 8.0. Sulatus.

VTT / Prowledge Oy. 2009c. KnowPulp versio 8.0. Kuorinta.

VTT / Prowledge Oy. 2009d. KnowPulp versio 8.0. Kuorimarummun purkauslinja ja hakun syöttölinja.

VTT / Prowledge Oy. 2009e. KnowPulp versio 8.0. Kuoren käsittely.

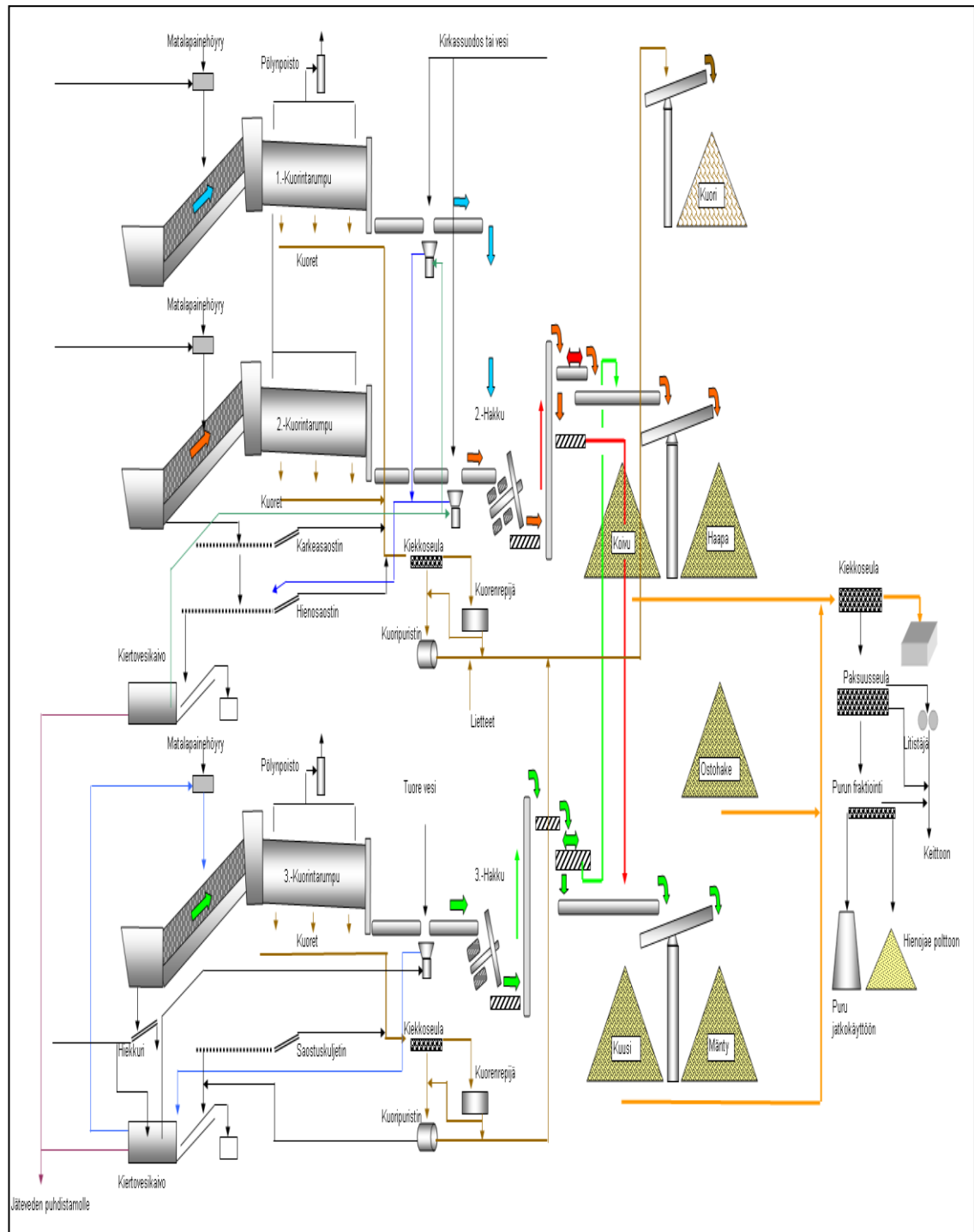
VTT / Prowledge Oy. 2009f. KnowPulp versio 8.0. Lietteenkäsittely.

VTT / Prowledge Oy. 2009g. KnowPulp versio 8.0. Haketus.

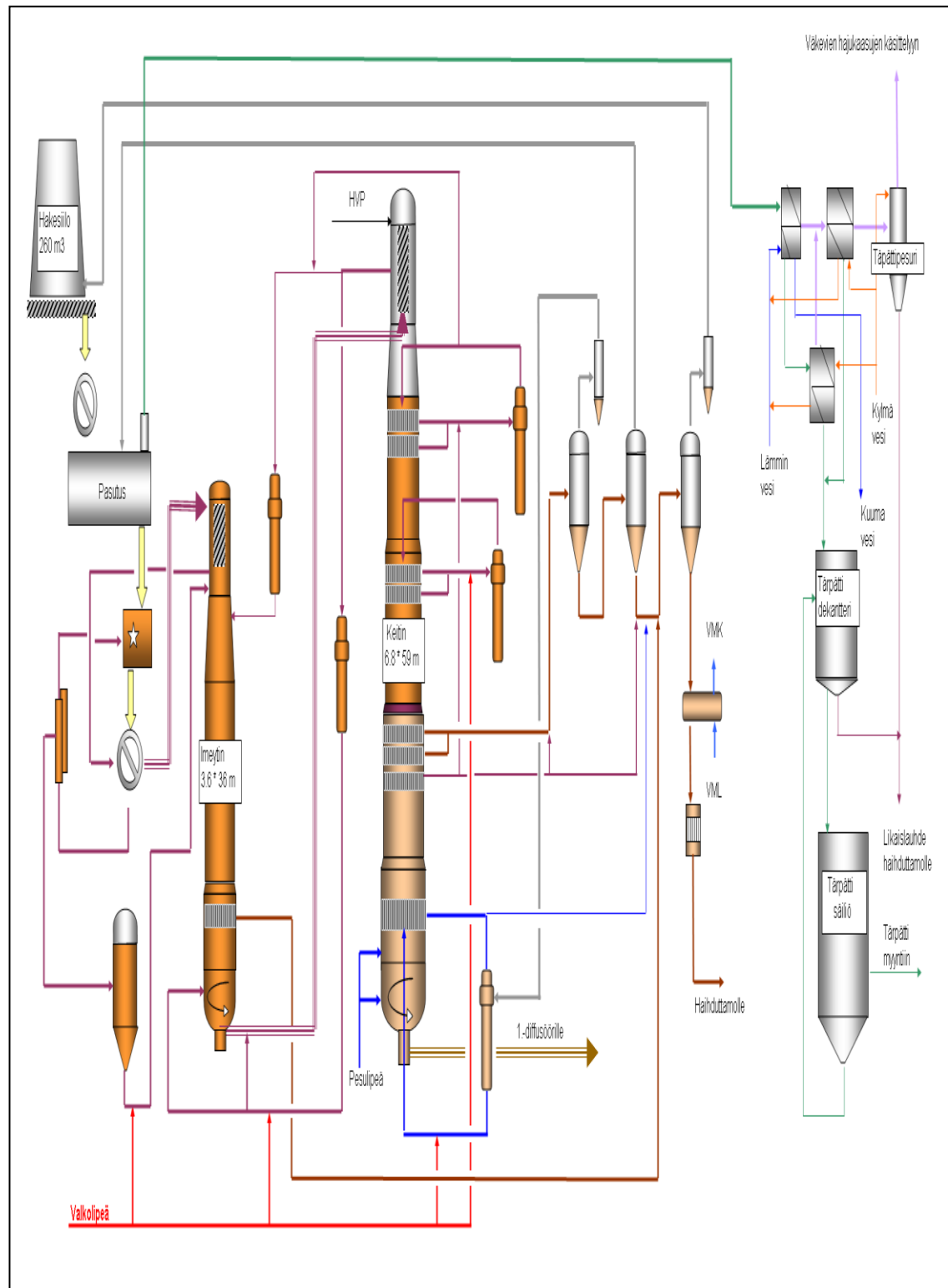
LIITTEET

LIITE 1

Prosessikaavio puusta hakkeeksi. (Oy Metsä-Botnia Ab 2011a, 1.)



Prosessikaavio keittämöstä. (Oy Metsä-Botnia Ab 2011a, 2.)



LIITE 3

Grubbsin testin kriittiset arvot. (Scan-G 2:07 2007, 5.)

Arvojen määrä	Harha-arvot $p < 0,01$	Epäilyttävät arvot $p < 0,05$
5	1,764	1,175
6	1,973	1,887
7	2,139	2,020
8	2,274	2,126
9	2,387	2,215
10	2,482	2,290
11	2,564	2,355
12	2,636	2,412
13	2,699	2,462
14	2,755	2,507
15	2,806	2,549
16	2,852	2,585
17	2,894	2,620
18	2,932	2,651
19	2,968	2,681
20	3,001	2,709
21	3,031	2,733
22	3,060	2,758
23	3,087	2,781
24	3,112	2,802
25	3,135	2,822

LIITE 4

T-testin kriittiset arvot. (Marjanen ym. 1996, 80.)

Vapaus- asteet	1-suuntainen testi merkitsevyytasolla			2-suuntainen testi merkitsevyytasolla		
	5%	1%	0.1%	5%	1%	0.1%
1	6.314	31.82	318.3	12.71	63.66	636.6
2	2.920	6.965	22.33	4.303	9.925	31.60
3	2.353	4.541	10.21	3.182	5.841	12.92
4	2.132	3.747	7.173	2.776	4.604	8.610
5	2.015	3.365	5.894	2.571	4.032	6.869
6	1.943	3.143	5.208	2.447	3.707	5.959
7	1.895	2.998	4.785	2.365	3.499	5.408
8	1.860	2.896	4.501	2.306	3.355	5.041
9	1.833	2.821	4.297	2.262	3.250	4.781
10	1.812	2.764	4.144	2.228	3.169	4.587
11	1.796	2.718	4.025	2.201	3.106	4.437
12	1.782	2.681	3.930	2.179	3.055	4.318
13	1.771	2.650	3.852	2.160	3.012	4.221
14	1.761	2.624	3.787	2.145	2.977	4.140
15	1.753	2.602	3.733	2.131	2.947	4.073
16	1.746	2.583	3.686	2.120	2.921	4.015
17	1.740	2.567	3.646	2.110	2.898	3.965
18	1.734	2.552	3.610	2.101	2.878	3.922
19	1.729	2.539	3.579	2.093	2.861	3.883
20	1.725	2.528	3.552	2.086	2.845	3.850
21	1.721	2.518	3.527	2.080	2.831	3.819
22	1.717	2.508	3.505	2.074	2.819	3.792
23	1.714	2.500	3.485	2.069	2.807	3.768
24	1.711	2.492	3.467	2.064	2.797	3.745
25	1.708	2.485	3.450	2.060	2.787	3.725
26	1.706	2.479	3.435	2.056	2.779	3.707
27	1.703	2.473	3.421	2.052	2.771	3.689
28	1.701	2.467	3.408	2.048	2.763	3.674
29	1.699	2.462	3.396	2.045	2.756	3.660
30	1.697	2.457	3.385	2.042	2.750	3.646
31	1.696	2.453	3.375	2.040	2.744	3.633
32	1.694	2.449	3.365	2.037	2.738	3.622
33	1.692	2.445	3.356	2.035	2.733	3.611
34	1.691	2.441	3.348	2.032	2.728	3.601
35	1.690	2.438	3.340	2.030	2.724	3.591

F-testin kriittiset arvot 2-suuntaiselle testille. (Marjanen ym. 1996, 82.)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
1	648	799	864	890	922	937	948	957	963	969	973	977	980	983	985	987	989	990	992	993	994	995	996	997	998	999	1000	1000	1001	1001	
2	38.51	39.00	39.17	39.25	39.30	39.33	39.36	39.37	39.39	39.40	39.41	39.41	39.42	39.43	39.43	39.44	39.44	39.44	39.45	39.45	39.45	39.45	39.46	39.46	39.46	39.46	39.46	39.46	39.46		
3	17.44	16.04	15.44	15.10	14.88	14.73	14.62	14.54	14.47	14.42	14.37	14.34	14.30	14.28	14.25	14.23	14.21	14.20	14.18	14.17	14.16	14.14	14.13	14.12	14.12	14.11	14.10	14.09	14.09	14.08	
4	12.22	10.65	9.98	9.60	9.36	9.20	9.07	8.98	8.90	8.84	8.79	8.75	8.72	8.68	8.66	8.63	8.61	8.59	8.58	8.56	8.55	8.53	8.52	8.51	8.50	8.49	8.48	8.48	8.47	8.46	
5	10.01	8.43	7.76	7.39	7.15	6.98	6.85	6.76	6.68	6.62	6.57	6.52	6.49	6.46	6.43	6.40	6.38	6.36	6.34	6.33	6.31	6.30	6.29	6.28	6.27	6.26	6.25	6.24	6.23	6.23	
6	8.81	7.26	6.60	6.23	5.99	5.82	5.70	5.60	5.52	5.46	5.41	5.37	5.33	5.30	5.27	5.24	5.22	5.20	5.18	5.17	5.15	5.14	5.13	5.12	5.11	5.10	5.09	5.08	5.07	5.07	
7	8.07	6.54	5.89	5.52	5.29	5.12	4.99	4.90	4.82	4.76	4.71	4.67	4.63	4.60	4.57	4.54	4.52	4.50	4.48	4.47	4.45	4.44	4.43	4.41	4.40	4.39	4.39	4.38	4.37	4.36	
8	7.57	6.06	5.42	5.05	4.82	4.65	4.53	4.43	4.36	4.30	4.24	4.20	4.16	4.13	4.10	4.08	4.05	4.03	4.02	4.00	3.98	3.97	3.96	3.95	3.94	3.93	3.92	3.91	3.90	3.89	
9	7.21	5.71	5.08	4.72	4.48	4.32	4.20	4.10	4.03	3.96	3.91	3.87	3.83	3.80	3.77	3.74	3.72	3.70	3.68	3.67	3.65	3.64	3.63	3.61	3.60	3.59	3.58	3.57	3.56	3.55	
10	6.94	5.46	4.83	4.47	4.24	4.07	3.95	3.85	3.78	3.72	3.66	3.62	3.58	3.55	3.52	3.50	3.47	3.45	3.44	3.42	3.40	3.39	3.38	3.37	3.35	3.34	3.33	3.32	3.31	3.31	
11	6.72	5.26	4.63	4.28	4.04	3.88	3.76	3.66	3.59	3.53	3.47	3.43	3.39	3.36	3.33	3.30	3.28	3.26	3.24	3.23	3.21	3.20	3.18	3.17	3.16	3.15	3.14	3.13	3.13	3.12	
12	6.55	5.10	4.47	4.12	3.88	3.73	3.61	3.51	3.44	3.37	3.32	3.28	3.24	3.21	3.18	3.15	3.13	3.11	3.09	3.07	3.06	3.04	3.03	3.02	3.01	3.00	2.99	2.98	2.97	2.96	2.96
13	6.41	4.97	4.35	4.00	3.77	3.60	3.48	3.39	3.31	3.25	3.20	3.15	3.12	3.08	3.05	3.03	3.00	2.98	2.96	2.95	2.93	2.92	2.91	2.89	2.88	2.87	2.86	2.85	2.85	2.84	2.84
14	6.30	4.86	4.24	3.89	3.66	3.50	3.38	3.29	3.21	3.15	3.09	3.05	3.01	2.98	2.95	2.92	2.90	2.88	2.86	2.84	2.83	2.81	2.80	2.78	2.77	2.77	2.76	2.75	2.74	2.73	2.73
15	6.20	4.77	4.15	3.80	3.56	3.41	3.29	3.20	3.12	3.06	3.01	2.96	2.92	2.89	2.86	2.84	2.81	2.79	2.77	2.76	2.74	2.73	2.71	2.70	2.69	2.68	2.67	2.66	2.65	2.64	2.64
16	6.12	4.69	4.08	3.73	3.50	3.34	3.22	3.12	3.05	2.99	2.93	2.89	2.85	2.82	2.79	2.76	2.74	2.72	2.70	2.68	2.67	2.65	2.64	2.63	2.61	2.60	2.59	2.58	2.57	2.56	2.55
17	6.04	4.62	4.01	3.66	3.44	3.28	3.16	3.08	2.99	2.92	2.87	2.82	2.78	2.75	2.72	2.70	2.67	2.65	2.63	2.62	2.60	2.59	2.57	2.56	2.55	2.54	2.53	2.52	2.51	2.50	2.50
18	5.98	4.56	3.95	3.61	3.38	3.22	3.10	3.01	2.93	2.87	2.81	2.77	2.73	2.70	2.67	2.64	2.62	2.60	2.58	2.56	2.54	2.53	2.52	2.50	2.49	2.48	2.47	2.46	2.45	2.44	2.44
19	5.92	4.51	3.90	3.56	3.33	3.17	3.05	2.96	2.88	2.82	2.76	2.72	2.68	2.65	2.62	2.59	2.57	2.55	2.53	2.51	2.49	2.48	2.46	2.45	2.44	2.43	2.42	2.41	2.40	2.39	2.39
20	5.87	4.46	3.86	3.51	3.29	3.13	3.01	2.91	2.84	2.77	2.72	2.68	2.64	2.60	2.57	2.55	2.52	2.50	2.48	2.46	2.45	2.43	2.42	2.41	2.40	2.39	2.38	2.37	2.36	2.35	2.35
21	5.83	4.42	3.82	3.48	3.25	3.09	2.97	2.87	2.80	2.73	2.68	2.64	2.60	2.56	2.53	2.51	2.48	2.46	2.44	2.42	2.41	2.39	2.38	2.37	2.36	2.34	2.33	2.32	2.31	2.31	2.31
22	5.79	4.38	3.78	3.44	3.22	3.05	2.93	2.84	2.76	2.70	2.65	2.60	2.56	2.53	2.50	2.47	2.45	2.43	2.41	2.39	2.37	2.36	2.34	2.33	2.32	2.31	2.30	2.29	2.28	2.27	2.27
23	5.75	4.35	3.75	3.41	3.18	3.02	2.90	2.81	2.73	2.67	2.62	2.57	2.53	2.50	2.47	2.44	2.42	2.39	2.37	2.36	2.34	2.33	2.31	2.30	2.29	2.28	2.27	2.26	2.25	2.24	2.24
24	5.72	4.32	3.72	3.38	3.15	2.99	2.87	2.78	2.70	2.64	2.59	2.54	2.50	2.47	2.44	2.41	2.39	2.36	2.35	2.33	2.31	2.30	2.28	2.27	2.26	2.25	2.24	2.23	2.22	2.21	2.21
25	5.69	4.29	3.69	3.35	3.13	2.97	2.85	2.75	2.68	2.61	2.56	2.51	2.48	2.44	2.41	2.38	2.36	2.34	2.32	2.30	2.28	2.27	2.26	2.24	2.23	2.22	2.21	2.20	2.19	2.18	2.18
26	5.66	4.27	3.67	3.33	3.10	2.94	2.82	2.73	2.65	2.59	2.54	2.49	2.45	2.42	2.39	2.36	2.34	2.31	2.29	2.28	2.26	2.24	2.23	2.22	2.21	2.19	2.18	2.17	2.17	2.16	2.16
27	5.63	4.24	3.65	3.31	3.08	2.92	2.80	2.71	2.63	2.57	2.51	2.47	2.43	2.39	2.36	2.34	2.31	2.28	2.27	2.25	2.24	2.22	2.21	2.19	2.18	2.17	2.16	2.15	2.14	2.13	2.13
28	5.61	4.22	3.63	3.29	3.06	2.90	2.78	2.69	2.61	2.55	2.49	2.45	2.41	2.37	2.34	2.32	2.29	2.27	2.25	2.23	2.22	2.20	2.19	2.17	2.16	2.15	2.14	2.13	2.12	2.11	2.11
29	5.59	4.20	3.61	3.27	3.04	2.88	2.76	2.67	2.59	2.53	2.48	2.43	2.39	2.36	2.32	2.30	2.27	2.25	2.23	2.21	2.20	2.18	2.17	2.15	2.14	2.13	2.12	2.11	2.10	2.09	2.09
30	5.57	4.18	3.59	3.25	3.03	2.87	2.75	2.65	2.57	2.51	2.46	2.41	2.37	2.34	2.31	2.28	2.26	2.23	2.21	2.20	2.18	2.16	2.15	2.14	2.12	2.11	2.10	2.09	2.08	2.07	2.07

LIITE 6: 1(7)

Mittaustulokset kalibrointia ja sen viritystä varten

Koivuhakkeen mittaustulokset

Mittaukset kalibrointia varten

Name	Date	BMA-%	Ref-%
Koivuhake	14.4.2011 14:34	47,3	53,1
Koivuhake	14.4.2011 14:31	47,9	52,1
Koivuhake	14.4.2011 14:27	48,1	51,0
Koivuhake	14.4.2011 14:25	47,8	50,6
Koivuhake	14.4.2011 14:22	48,1	49,2
Koivuhake	14.4.2011 14:21	46,0	48,7
Koivuhake	14.4.2011 14:18	47,0	48,0
Koivuhake	14.4.2011 14:16	45,0	47,5
Koivuhake	14.4.2011 14:14	45,4	45,6
Koivuhake	14.4.2011 14:12	33,7	34,6
Koivuhake	14.4.2011 14:09	36,3	37,5
Koivuhake	14.4.2011 14:07	34,5	37,4
Koivuhake	14.4.2011 14:05	37,0	38,9
Koivuhake	14.4.2011 14:02	37,0	39,9
Koivuhake	14.4.2011 14:00	37,8	40,2
Koivuhake	14.4.2011 13:55	38,4	40,4
Koivuhake	14.4.2011 13:53	38,0	40,0
Koivuhake	14.4.2011 13:50	37,8	40,9
Koivuhake	14.4.2011 13:48	40,2	41,5
Koivuhake	14.4.2011 13:45	40,2	42,5
Koivuhake	14.4.2011 13:43	39,3	42,2
Koivuhake	14.4.2011 13:39	40,8	43,1
Koivuhake	14.4.2011 13:37	41,4	43,7
Koivuhake	14.4.2011 13:34	42,2	44,3
Koivuhake	14.4.2011 13:31	42,3	44,5
Koivuhake	14.4.2011 13:29	42,7	45,4
Koivuhake	14.4.2011 13:26	42,7	45,3
Koivuhake	14.4.2011 13:24	41,2	45,1
Koivuhake	14.4.2011 13:20	42,2	45,4

Mittaukset kalibroinnin viritämiseen

Name	Date	BMA-%	Ref-%
Koivuhake	23.5.2011 9:52	43,6	41,9
Koivuhake	23.5.2011 9:49	43,8	42,3
Koivuhake	19.5.2011 11:43	42,7	40,7
Koivuhake	19.5.2011 11:41	44,0	41,8
Koivuhake	18.5.2011 14:51	43,4	41,1
Koivuhake	18.5.2011 14:48	43,6	41,8
Koivuhake	16.5.2011 17:23	41,9	41,6
Koivuhake	16.5.2011 17:20	42,8	41,5
Koivuhake	12.5.2011 14:40	44,5	42,1
Koivuhake	12.5.2011 14:37	43,5	42,0
Koivuhake	12.5.2011 14:33	44,2	42,2
Koivuhake	12.5.2011 14:30	44,5	42,0
Koivuhake	9.5.2011 13:43	43,3	43,2
Koivuhake	9.5.2011 13:40	43,7	42,8
Koivuhake	9.5.2011 13:35	43,0	43,0
Koivuhake	9.5.2011 13:32	43,6	43,2
Koivuhake	4.5.2011 9:39	44,9	43,0

- näytteisiin lisätty vettä keinotekoisesti

LIITE 6: 2(7)

Havuhakkeen mittaustulokset

Mittaukset kalibrointia varten

Name	Date	BMA-%	Ref-%
Havuhake	19.4.2011 17:37	58,1	57,4
Havuhake	19.4.2011 17:33	58,6	58,2
Havuhake	19.4.2011 17:29	57,9	57,3
Havuhake	19.4.2011 17:26	58,6	56,6
Havuhake	19.4.2011 17:22	57,9	56,3
Havuhake	19.4.2011 17:19	47,4	44,9
Havuhake	19.4.2011 17:14	50,1	48,5
Havuhake	19.4.2011 17:11	50,6	48,2
Havuhake	19.4.2011 17:07	50,4	49,2
Havuhake	19.4.2011 17:03	51,8	50,8
Havuhake	19.4.2011 16:59	50,6	49,4
Havuhake	19.4.2011 16:56	52,9	49,8
Havuhake	19.4.2011 16:53	51,1	50,8
Havuhake	19.4.2011 16:49	51,4	50,9
Havuhake	19.4.2011 16:47	51,6	51,6
Havuhake	19.4.2011 16:42	53,0	51,8
Havuhake	19.4.2011 16:39	52,9	52,2
Havuhake	19.4.2011 16:35	52,5	52,3
Havuhake	19.4.2011 16:32	53,9	53,7
Havuhake	19.4.2011 16:29	54,1	53,6
Havuhake	19.4.2011 16:25	54,0	54,3
Havuhake	19.4.2011 16:22	56,1	55,0
Havuhake	19.4.2011 16:19	56,5	0,0
Havuhake	19.4.2011 16:16	55,7	55,5
Havuhake	19.4.2011 16:13	55,2	55,6
Havuhake	19.4.2011 9:33	55,5	55,1
Havuhake	19.4.2011 9:29	57,8	57,2
Havuhake	19.4.2011 9:26	56,0	55,2
Havuhake	19.4.2011 9:22	56,6	56,6

Mittaukset kalibroinnin virittämiseen

Name	Date	BMA-%	Ref-%
Havuhake	23.5.2011 14:00	52,1	53,3
Havuhake	23.5.2011 13:57	51,2	53,0
Havuhake	17.5.2011 16:51	54,4	53,7
Havuhake	17.5.2011 16:48	53,7	53,7
Havuhake	17.5.2011 16:46	54,6	53,7
Havuhake	10.5.2011 14:03	54,9	54,1
Havuhake	10.5.2011 14:00	55,4	55,6
Havuhake	10.5.2011 13:54	55,5	55,3
Havuhake	10.5.2011 13:51	54,8	54,4
Havuhake	4.5.2011 9:34	55,6	55,3
Havuhake	4.5.2011 9:31	57,1	56,0
Havuhake	2.5.2011 10:11	56,8	57,1
Havuhake	2.5.2011 10:08	56,5	55,3
Havuhake	28.4.2011 13:44	51,8	51,0
Havuhake	28.4.2011 13:10	57,3	55,7
Havuhake	28.4.2011 13:07	56,8	56,3

* Näytteisiin lisätty vettä keinotekoisesti

LIITE 6: 3(7)

Homogenisoidun koivukuoren mittaustulokset

Mittaukset kalibrointia varten

Name	Date	BMA-%	Ref-%
Koivukuori	21.4.2011 17:20	40,1	28,5
Koivukuori	21.4.2011 17:18	41,1	29,2
Koivukuori	21.4.2011 17:15	41,8	30,6
Koivukuori	21.4.2011 17:12	40,4	26,5
Koivukuori	21.4.2011 17:10	41,2	27,5
Koivukuori	21.4.2011 17:07	41,9	29,3
Koivukuori	21.4.2011 17:03	43,2	30,5
Koivukuori	21.4.2011 17:01	42,6	30,9
Koivukuori	21.4.2011 16:58	44,2	33,0
Koivukuori	21.4.2011 16:56	44,0	33,7
Koivukuori	21.4.2011 16:54	45,0	33,9
Koivukuori	21.4.2011 16:51	44,5	33,8
Koivukuori	21.4.2011 16:48	46,4	35,8
Koivukuori	21.4.2011 16:46	48,9	38,2
Koivukuori	21.4.2011 16:43	49,8	38,5
Koivukuori	21.4.2011 16:41	49,2	39,1
Koivukuori	21.4.2011 16:38	49,3	38,7
Koivukuori	21.4.2011 16:35	51,1	39,6
Koivukuori	21.4.2011 16:31	49,6	40,6
Koivukuori	21.4.2011 16:19	55,7	46,9
Koivukuori	21.4.2011 16:16	51,4	42,6
Koivukuori	21.4.2011 16:13	52,3	44,1
Koivukuori	21.4.2011 16:11	52,7	43,9
Koivukuori	21.4.2011 16:07	54,2	44,8
Koivukuori	21.4.2011 15:55	54,3	45,1
Koivukuori	21.4.2011 15:52	54,5	44,7
Koivukuori	21.4.2011 15:47	54,7	46,8
Koivukuori	21.4.2011 15:44	54,8	46,7
Koivukuori	21.4.2011 15:34	55,0	45,9
Koivukuori	21.4.2011 15:25	51,4	42,2

Mittaukset kalibroinnin virittämiseen

Name	Date	BMA-%	Ref-%
Koivukuori	23.5.2011 12:22	48,4	46,2
Koivukuori	23.5.2011 12:18	49,6	46,2
Koivukuori	23.5.2011 12:15	49,2	44,6
Koivukuori	23.5.2011 11:49	46,7	43,1
Koivukuori	23.5.2011 11:45	46,7	43,4
Koivukuori	23.5.2011 11:41	42,7	45,1
Koivukuori	23.5.2011 11:34	43,7	44,0
Koivukuori	23.5.2011 11:32	42,4	43,1
Koivukuori	18.5.2011 15:55	46,6	40,4
Koivukuori	18.5.2011 15:53	47,4	40,7
Koivukuori	16.5.2011 14:54	40,1	40,1
Koivukuori	16.5.2011 14:50	42,6	43,3
Koivukuori	16.5.2011 14:46	39,8	41,3

LIITE 6: 4(7)

Homogenisoidun havukuoren mittaustulokset

Mittaukset kalibrointia varten

Name	Date	BMA-%	Ref-%
Havukuori	27.4.2011 18:02	46,1	41,1
Havukuori	27.4.2011 17:59	46,4	43,8
Havukuori	27.4.2011 17:55	49,8	46,1
Havukuori	27.4.2011 17:47	53,2	47,6
Havukuori	27.4.2011 17:43	54,7	48,0
Havukuori	27.4.2011 17:41	54,6	47,2
Havukuori	27.4.2011 17:29	55,7	49,3
Havukuori	27.4.2011 17:26	55,9	49,6
Havukuori	27.4.2011 17:23	55,6	49,6
Havukuori	27.4.2011 17:20	57,4	51,8
Havukuori	27.4.2011 17:17	58,3	51,9
Havukuori	27.4.2011 17:14	59,5	52,6
Havukuori	27.4.2011 17:10	61,2	54,4
Havukuori	27.4.2011 17:08	61,4	55,1
Havukuori	27.4.2011 17:00	62,2	55,9
Havukuori	27.4.2011 16:57	63,4	57,1
Havukuori	27.4.2011 16:54	64,3	58,0
Havukuori	27.4.2011 16:51	65,6	58,6
Havukuori	27.4.2011 16:47	66,0	58,5
Havukuori	27.4.2011 16:44	66,8	59,0
Havukuori	27.4.2011 16:39	67,3	59,2
Havukuori	27.4.2011 16:35	66,7	59,3
Havukuori	27.4.2011 16:32	63,4	59,9
Havukuori	27.4.2011 16:30	64,2	60,8
Havukuori	27.4.2011 16:27	64,6	60,8
Havukuori	27.4.2011 16:24	64,3	60,3

Mittaukset kalibroinnin virittämiseen

Name	Date	BMA-%	Ref-%
Havukuori	23.5.2011 12:12	64,5	63,4
Havukuori	23.5.2011 12:09	65,0	65,9
Havukuori	23.5.2011 11:38	60,1	60,2
Havukuori	18.5.2011 16:04	61,6	59,2
Havukuori	18.5.2011 16:00	61,1	58,9
Havukuori	18.5.2011 15:43	58,0	57,9
Havukuori	18.5.2011 15:39	57,2	56,5
Havukuori	17.5.2011 17:54	61,8	66,1
Havukuori	17.5.2011 17:51	60,2	57,9
Havukuori	17.5.2011 17:48	58,6	58,2
Havukuori	17.5.2011 17:45	56,8	59,4
Havukuori	16.5.2011 15:06	58,2	58,2
Havukuori	16.5.2011 15:02	56,3	54,6

LIITE 6: 5(7)

Homogenisoitu kuori+liete -mittaustulokset

Mittaukset kalibrointia varten

Name	Date	BMA-%	Ref-%
Yhteisnäyte	3.5.2011 16:56	39,4	34,7
Yhteisnäyte	3.5.2011 15:43	37,6	37,9
Yhteisnäyte	3.5.2011 15:40	41,9	42,8
Yhteisnäyte	3.5.2011 15:37	42,1	42,7
Yhteisnäyte	3.5.2011 15:31	42,4	44,6
Yhteisnäyte	3.5.2011 15:29	43,3	44,0
Yhteisnäyte	3.5.2011 15:26	44,2	45,4
Yhteisnäyte	3.5.2011 15:22	44,4	47,1
Yhteisnäyte	3.5.2011 15:19	45,4	48,2
Yhteisnäyte	3.5.2011 15:16	46,6	47,8
Yhteisnäyte	3.5.2011 15:14	45,6	48,4
Yhteisnäyte	3.5.2011 15:11	47,8	49,7
Yhteisnäyte	3.5.2011 15:08	47,2	51,5
Yhteisnäyte	3.5.2011 15:03	48,1	53,2
Yhteisnäyte	3.5.2011 15:00	49,3	53,2
Yhteisnäyte	3.5.2011 14:57	49,1	54,3
Yhteisnäyte	3.5.2011 14:54	49,6	52,3
Yhteisnäyte	3.5.2011 14:51	50,1	53,9
Yhteisnäyte	3.5.2011 14:48	50,0	54,5
Yhteisnäyte	3.5.2011 14:45	48,9	54,4
Yhteisnäyte	3.5.2011 14:12	49,7	54,3
Yhteisnäyte	3.5.2011 14:07	52,5	56,7
Yhteisnäyte	3.5.2011 14:05	53,0	56,9
Yhteisnäyte	3.5.2011 14:02	54,1	57,1
Yhteisnäyte	3.5.2011 13:59	53,4	57,0

Mittaukset kalibroinnin virittämiseen

Name	Date	BMA-%	Ref-%
Yhteisnäyte	25.5.2011 16:33	56,5	49,6
Yhteisnäyte	25.5.2011 16:31	55,7	51,5
Yhteisnäyte	25.5.2011 16:29	55,9	48,0
Yhteisnäyte	25.5.2011 16:27	54,9	51,8
Yhteisnäyte	25.5.2011 16:25	53,4	51,8
Yhteisnäyte	25.5.2011 16:21	59,4	44,5
Yhteisnäyte	25.5.2011 16:19	60,6	43,5
Yhteisnäyte	25.5.2011 16:16	48,8	56,8
Yhteisnäyte	25.5.2011 16:14	50,0	56,6
Yhteisnäyte	24.5.2011 17:46	70,7	59,3
Yhteisnäyte	24.5.2011 17:43	73,1	58,3
Yhteisnäyte	24.5.2011 17:39	47,2	46,7
Yhteisnäyte	24.5.2011 17:38	46,8	45,9
Yhteisnäyte	24.5.2011 17:34	68,9	58,4
Yhteisnäyte	24.5.2011 17:31	69,6	59,0
Yhteisnäyte	19.5.2011 12:22	66,5	47,9
Yhteisnäyte	19.5.2011 12:19	65,9	47,3
Yhteisnäyte	19.5.2011 12:17	64,2	45,9
Yhteisnäyte	16.5.2011 17:01	58,4	45,6
Yhteisnäyte	16.5.2011 16:57	56,4	49,1
Yhteisnäyte	16.5.2011 16:54	60,1	45,5

LIITE 6: 6(7)

Homogenisoimaton kuori+liete -mittaustulokset

Mittaukset kalibrointia varten

Mittaukset kalibroinnin virittämiseen

Name	Date	BMA-%	Ref-%	Name	Date	BMA-%	Ref-%
Yhteisnäyte	11.5.2011 17:45	40,7	34,5	Yhteisnäyte	25.5.2011 14:42	48,6	55,6
Yhteisnäyte	11.5.2011 17:43	45,2	39,4	Yhteisnäyte	25.5.2011 14:40	49,0	55,1
Yhteisnäyte	11.5.2011 17:40	41,9	35,3	Yhteisnäyte	25.5.2011 14:30	57,9	59,1
Yhteisnäyte	11.5.2011 17:36	40,5	36,1	Yhteisnäyte	25.5.2011 14:28	60,2	61,3
Yhteisnäyte	11.5.2011 17:32	49,2	42,6	Yhteisnäyte	25.5.2011 14:19	46,6	50,7
Yhteisnäyte	11.5.2011 17:29	49,5	43,5	Yhteisnäyte	25.5.2011 14:17	46,8	49,6
Yhteisnäyte	11.5.2011 17:26	49,3	44,0	Yhteisnäyte	24.5.2011 16:17	59,3	60,1
Yhteisnäyte	11.5.2011 17:23	48,3	41,7	Yhteisnäyte	24.5.2011 16:15	59,8	60,9
Yhteisnäyte	11.5.2011 17:20	48,6	44,3	Yhteisnäyte	24.5.2011 15:48	58,1	59,4
Yhteisnäyte	11.5.2011 17:16	49,6	45,6	Yhteisnäyte	24.5.2011 15:45	60,1	62,1
Yhteisnäyte	11.5.2011 17:13	52,6	47,2	Yhteisnäyte	24.5.2011 15:22	40,0	45,3
Yhteisnäyte	11.5.2011 17:09	52,5	48,7	Yhteisnäyte	24.5.2011 15:20	42,0	45,8
Yhteisnäyte	11.5.2011 17:06	53,6	49,7	Yhteisnäyte	19.5.2011 11:28	53,5	51,7
Yhteisnäyte	11.5.2011 17:02	52,7	49,7	Yhteisnäyte	19.5.2011 11:18	53,3	45,4
Yhteisnäyte	11.5.2011 16:59	54,1	50,5	Yhteisnäyte	19.5.2011 11:15	53,8	45,6
Yhteisnäyte	11.5.2011 16:54	53,3	50,7	Yhteisnäyte	16.5.2011 16:22	47,9	43,9
Yhteisnäyte	11.5.2011 16:51	55,7	49,8	Yhteisnäyte	16.5.2011 16:13	49,6	51,6
Yhteisnäyte	11.5.2011 16:47	55,4	51,8	Yhteisnäyte	16.5.2011 16:09	49,3	46,1
Yhteisnäyte	11.5.2011 16:44	59,0	54,9				
Yhteisnäyte	11.5.2011 16:40	59,6	55,7				
Yhteisnäyte	11.5.2011 16:37	59,9	55,9				
Yhteisnäyte	11.5.2011 16:32	61,3	56,2				
Yhteisnäyte	11.5.2011 16:28	61,4	56,5				
Yhteisnäyte	11.5.2011 16:25	60,3	55,6				
Yhteisnäyte	11.5.2011 16:22	59,9	56,8				
Yhteisnäyte	11.5.2011 16:19	60,9	56,7				
Yhteisnäyte	11.5.2011 16:17	61,0	55,4				

LIITE 6: 7(7)

Turpeen mittaustulokset

Mittaukset kalibrointia varten

Name	Date	BMA-%	Ref-%
Turve	5.5.2011 14:12	36,6	21,7
Turve	5.5.2011 14:10	37,9	22,8
Turve	5.5.2011 14:08	36,7	23,5
Turve	5.5.2011 14:06	37,0	24,7
Turve	5.5.2011 14:03	36,1	24,9
Turve	5.5.2011 13:59	37,3	25,7
Turve	5.5.2011 13:56	36,9	26,5
Turve	5.5.2011 13:54	37,1	27,4
Turve	5.5.2011 13:50	37,8	27,3
Turve	5.5.2011 13:46	37,4	27,0
Turve	5.5.2011 13:43	38,0	27,6
Turve	5.5.2011 13:39	36,8	29,2
Turve	5.5.2011 13:37	37,0	31,1
Turve	5.5.2011 13:34	37,9	30,7
Turve	5.5.2011 13:31	37,8	31,0
Turve	5.5.2011 13:28	38,3	31,5
Turve	5.5.2011 13:26	39,0	32,4
Turve	5.5.2011 13:21	39,2	33,5
Turve	5.5.2011 13:18	39,1	33,3
Turve	5.5.2011 13:14	39,3	33,5
Turve	5.5.2011 13:11	39,3	34,3
Turve	5.5.2011 13:09	39,7	34,3
Turve	5.5.2011 13:06	39,9	35,4
Turve	5.5.2011 10:59	41,0	36,0
Turve	5.5.2011 10:57	40,9	36,0
Turve	5.5.2011 10:54	40,8	36,3
Turve	5.5.2011 10:51	40,6	36,1

Mittaukset kalibroinnin virittämiseen

Name	Date	BMA-%	Ref-%
Turve	23.5.2011 10:27	61,3	56,1
Turve	23.5.2011 10:24	59,9	54,8
Turve	23.5.2011 10:21	62,7	57,9
Turve	23.5.2011 10:18	59,3	55,0
Turve	23.5.2011 10:06	43,6	42,0
Turve	23.5.2011 10:02	43,5	41,8
Turve	19.5.2011 12:04	53,8	57,0
Turve	19.5.2011 12:01	53,3	57,1
Turve	19.5.2011 11:59	43,9	45,1
Turve	19.5.2011 11:56	41,8	45,4
Turve	19.5.2011 11:53	54,9	58,5
Turve	19.5.2011 11:49	54,9	56,2
Turve	17.5.2011 18:09	47,3	50,4
Turve	17.5.2011 18:07	49,1	50,4
Turve	17.5.2011 18:03	45,8	46,5
Turve	17.5.2011 17:59	41,5	44,5
Turve	12.5.2011 15:11	46,9	50,2
Turve	12.5.2011 15:08	47,6	50,4
Turve	12.5.2011 15:05	47,3	50,3
Turve	12.5.2011 15:02	47,8	49,1
Turve	12.5.2011 14:57	50,3	52,9
Turve	12.5.2011 14:54	52,1	53,9
Turve	12.5.2011 14:51	50,9	53,0
Turve	12.5.2011 14:48	50,9	53,1
Turve	10.5.2011 15:15	44,4	48,5
Turve	10.5.2011 15:09	47,3	49,5