



Hakkeen kosteuden on-line -mittaus

Julkaisu:

**Järvinen, T., Siikanen, S., Tiitta, M. ja Tomppo, L. 2008.
Yhdistelmämittaus hakkeen kosteuden on-line
-määrittämiseen. VTT-R-08121-08**

Tavoite ja toteutus

- Hakkeen kosteuden ja kuiva-aineen määrittäminen
 - Vastaanotossa laitokselle tuotaessa kuiva-aineen määrittämiseksi
 - Hakevirrasta prosessikuljettimelta prosessin säätämiseksi
- Tarvitaan sekä selluhakkeelle että polttohakkeelle
- Tässä projektissa tutkittiin seuraavia tekniikoita
 - Radiometriset mittaukset (gamma-lähde ja tuikeilmaisin)
 - NIR (lähi-infrapuna)
 - Impedanssimittaus
 - Akustinen emissio
 - Millä kosteusalueella kukin on soveltuvin ja kuinka tekniikoita pitäisi yhdistää luotettavan tuloksen saamiseksi kaikissa olosuhteissa
- Tekijät
 - VTT – radiometriset mittaukset ja NIR
 - Kuopion yliopisto – impedanssi ja akustinen emissio

Hankkeen rahoittajat ja tekijät

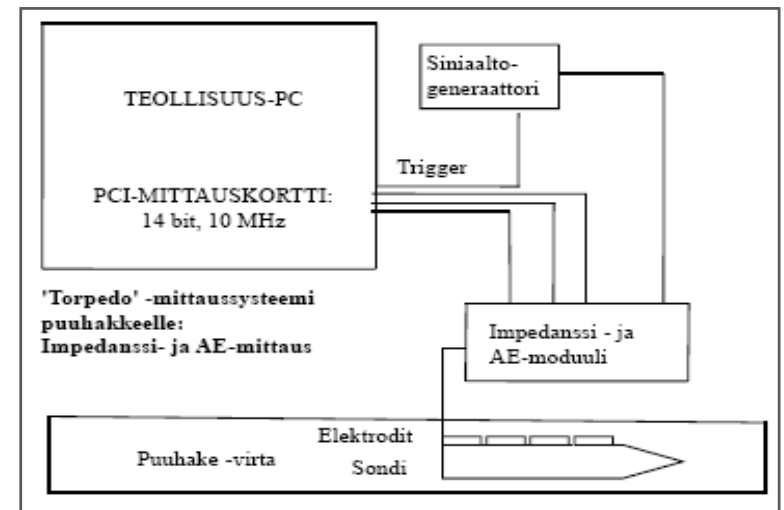
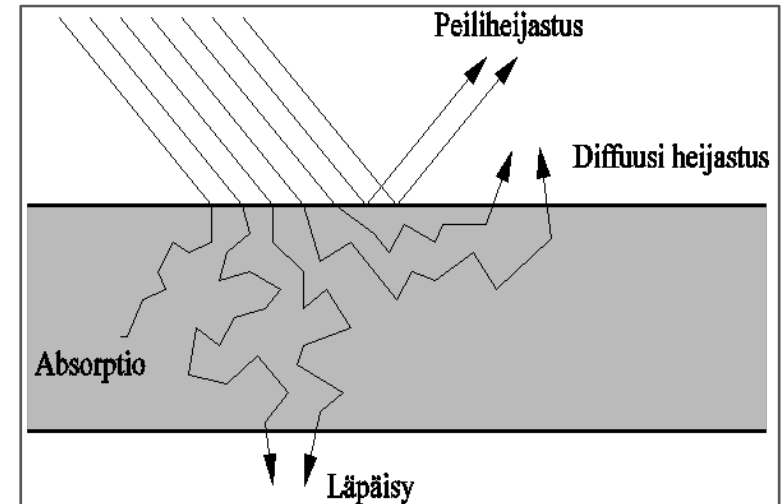
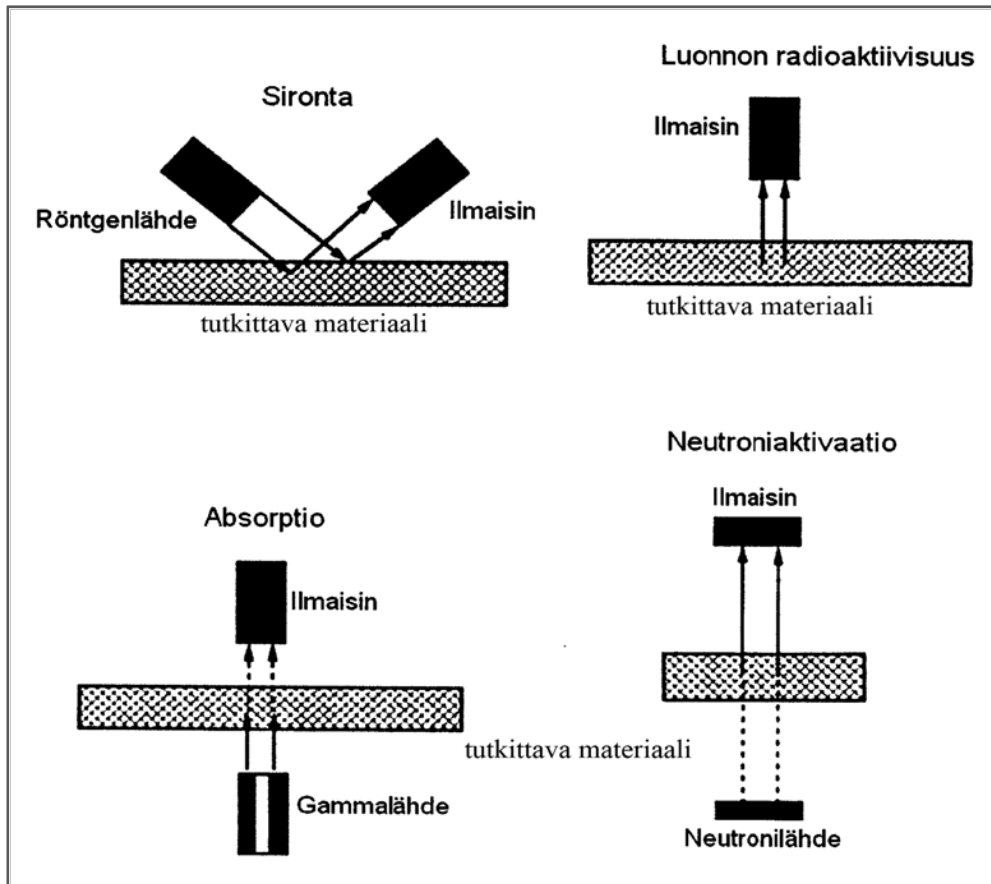
- Yritysryhmä
 - Alholmens Kraft Oy
 - BMH Technology Oy
 - Jyväskylän Energiantuotanto Oy
 - Kouvo Automation Oy
 - Metso Power Oy
 - Metsäteho Oy edustaen metsäteollisuutta
 - Raumaster Oy
- Tekijät
 - VTT Jyväskylä Timo Järvinen, Esa Kallio, Heikki Kaipainen, VTT Oulu Eero Hietala, VTT Kuopio Sami Siikanen ja Pekka Teppola (radiometriset ja NIR –mittaukset sekä koelinja-ajot)
 - Kuopion yliopisto, fysiikan laitos Markku Tiitta ja Laura Tomppo (impedanssi ja AE –mittaukset)

Mittausperiaatteet

- **Infrapunatekniikassa** perusta on diffuusin heijastusabsorption mittauksessa; aallon pituutena käytetään nykyisin ns. lähi-infrapuna- aluetta, josta nimi NIR (near infrared). NIR-spektri sisältää satoja aallonpituuksia, joita käsitellään monimuuttujamalleilla.
- **Radiometrisessä** mittauksessa on tässä kysymys radioaktiivisen säteilyn vaimenemisen mittauksesta, jolloin tarvitaan säteilylähde ja ilmaisin. Yleisin detektorityyppi esim. gammasäteilylle on ns. tuikeilmais.
- **Impedanssimittaus** on sähkökenttään perustuva mittausmenetelmä, jolloin aineeseen muodostetaan sähkökenttä elektrodeilla ja useilla taajuuksilla mitataan sähköinen impedanssi. Tällöin kohdetta ja sen ominaisuuksia voidaan kuvata tarkemmin malleilla verrattuna samantyyppiseen yhtä taajuutta käyttävään kapasitiiviseen mittaukseen.
- **Akustisen emission** mittaus tapahtuu ”kuunteluanturilla”, josta saadaan helposti kvalitatiivista tietoa kohteesta.

Mittausperiaatekaaviot

NIR, radiometrinen sekä impedanssi ja akustinen emissio



Kosteusmittauksen haasteet puulla

- Puun, ja yleensäkin biomassamateriaalien, kosteuspitoisuuden nopea mittaaminen on ollut vaikeasti ratkaistavissa materiaalin monimuotoisuuden ja kosteuden epätasaisen jakautumisen vuoksi.
- Tasalaatuisella, haketyyppisellä materiaalilla ratkaisut saavutettavissa helpommin kuin ”uusilla” puutuotteilla, kuten metsähakkeella tai kokopuulla.
- Mittausmenetelmissä täytyy ratkaista ns. pintamittausongelma: suuri osa nykyisin käytetyistä ja myös tutkituista menetelmistä reagoi liian voimakkaasti puun pintakosteuteen, jolloin sen vaikutus tulokseen dominoi.
- Lumi ja jää voivat sekoittaa mittauksen täysin; usein monet sähköiset ja myös optiset menetelmät ovat herkkiä veden olomuodon muutoksille.
- Nykyisillä tekniikoilla on kuitenkin mahdollisuus läpimurtoon.

Tutkitut tekniikat – Ominaisuuksia ja mahdollisuuksia

- Infrapunamittausta paljon käytetty, kaupalliset sovellukset pääosin suodinkiekko -periaatteella, uudet ratkaisut perustuvat "NIR-kokospektrimittaukseen" ja monimuuttujamalleihin
 - käytännössä ongelmana pintamittausperiaate, jota pyritään hallitsemaan malleilla.
- "Sähkökenttämittaukset" ovat kehittyneet: mm. impedanssi-spektrimittaus mahdollistaa laskentamallien käytön olosuhdekysymysten ja materiaalin epähomogeenisuuden aiheuttamien haasteiden ratkaisuun.
- Klassinen radiometrinen menetelmä mahdollistaa "läpimittauksen" ja reagoi vähän lumeen tai jäähän, käytännössä valmis ratkaisu, kun mitattavan materiaalin laatu ei vaihtelee, ja on helposti yhdistettävissä muihin menetelmiin.
- Akustinen "kuuntelu" eli akustisen emission mittaus tarjoaa edullisen ja käytettävän vaihtoehdon materiaalin laadun mittaukseen.

Näin tutkittiin

- Tarkan referenssimittauksen, riittävän kosteusalueen ja toistettavuuden vuoksi tutkimukset tehtiin VTT:n koelinjalla, jossa on kiinteänä radiometriset mittausrakenteet ja muita hihnamittauslaitteistoja.
- NIR –mittauksessa käytettiin VTT:n kehittämää mittapäätä, josta sädekimppu vietiin valokuidulla InGaAs –alueen (945-1715 nm) Zeiss(rivi)spektrometrille, jolla voitiin mitata 128 aallonpituutta kerralla.
- Impedanssimittaukset tehtiin käyttäen kahta eri mittapäätä, joista toisessa käytettiin uutta kompaktia impedanssipiiriä (AD5933).
- Akustinen anturi oli kiinnitetty toiseen impedanssimittapäähän.
- Mitatut materiaalit olivat sellu- ja metsätähdehakea, mittaukset tehtiin syksyllä 2007 ja keväällä 2008.
- Eri kosteustasot saatiin hakea hitaasti kuivaamalla, vähitellen kastelemalla ja seostamalla.
- Hakkeita myös jäädytettiin ja mitattiin pakkasoloissa.
- Mittaukset tehtiin jatkuvatoimisesti (on-line) 1 m/s -hihnanopeudella.

Hakkeen kosteuden on-line -mittaus hihnakuljettimelta



Metsähaketta ja radiometriset mittaukset, niiden välissä ir-mittari.



Teollisuushaketta, nir-mittapää ja kaksi impedanssimittausta.

Hakkeen kosteuden on-line -mittaus hihnakuljettimelta



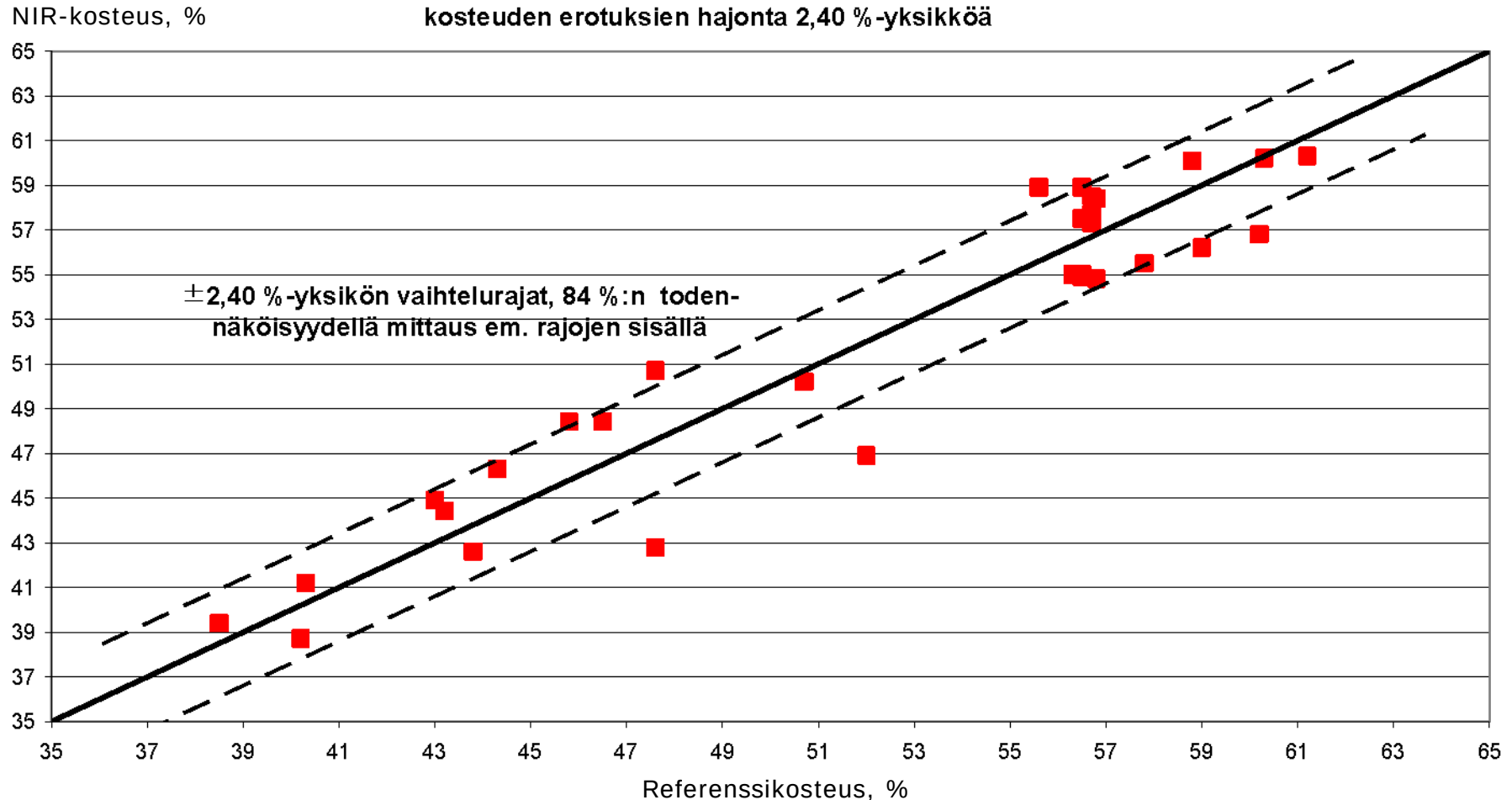
”Torpedoimpedanssimittapää” metsähakkeessa ja AE-kuunteluanturi mittapään varteen kiinnitettynä.

Selluhakkeen kosteuden on-line -mittauksen tulokset

- Selluhakkeella kehittyneellä NIR-mittauksella päästiin 2–3 %-yksikön tarkkuuteen n. 85 %:n todennäköisyydellä VTT:n koelinja-ajoissa.
- Samaan tarkkuuteen päästiin myös radiometrisellä tiheysmittauksella jopa silloin, kun mitattiin eri vuosina samasta puulajista (mänty) samantyyppisellä hakkurilla (sama palakoko) tehtyä haketta.
- Jos puulaji tai palakoko muuttuu, niin mittausjärjestelmä pitää kalibroida uudelleen.
- Impedanssispektroskopiaan perustuvassa mittauksessa – käyttäen mallissa kahta parametria, impedanssimoduuli ja vaihesiirto – mitatun kosteuden ja mallin antaman tuloksen korrelaatioksi saatiin 0,9 ja ennustemallista lasketuksi keskivirheeksi n. ± 2 %-yksikköä.

NIR-kosteusmittauksen tarkkuus selluhakkeella

VTT:n koelinja-ajot 2007–2008

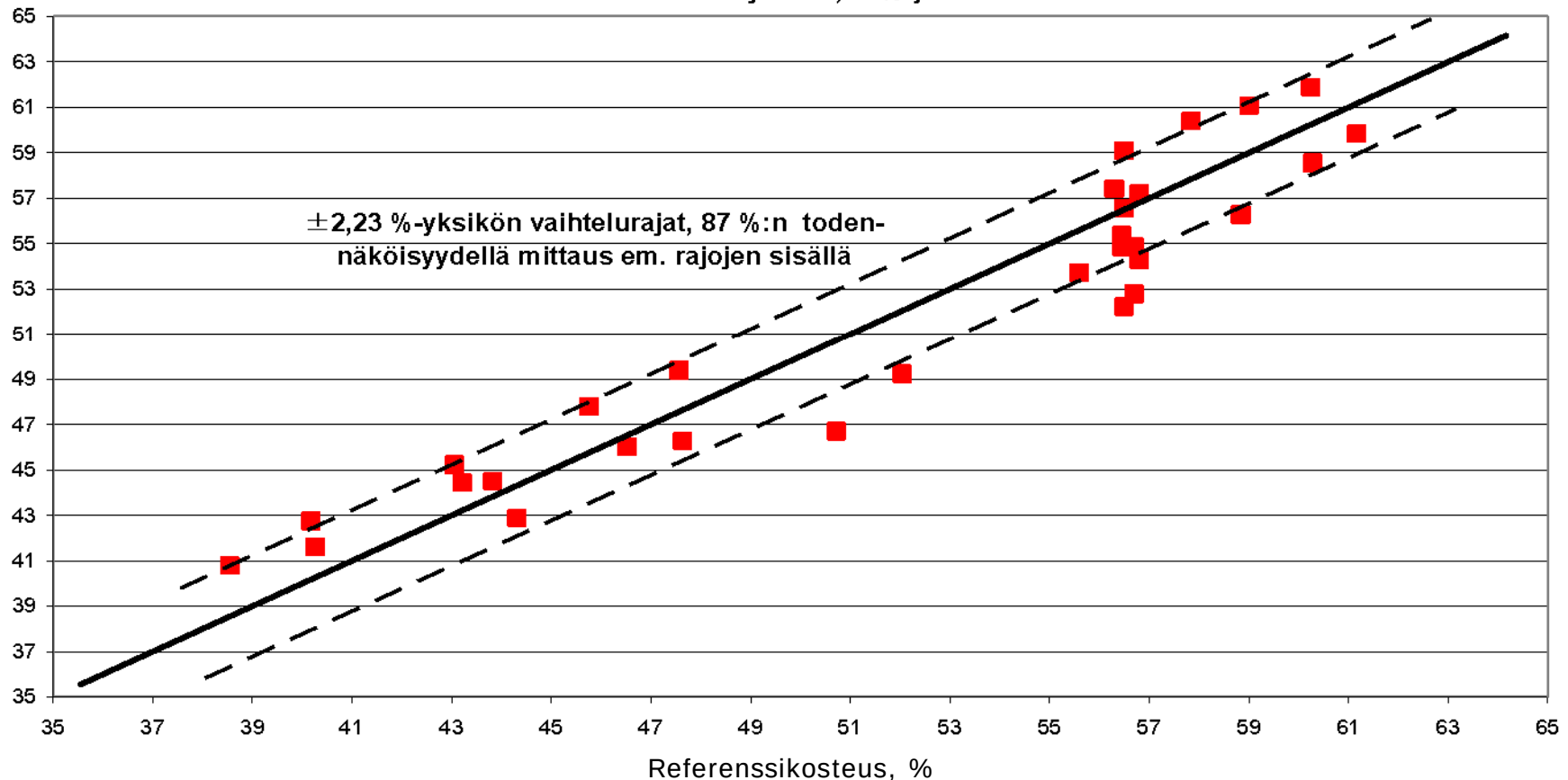


Radiometrisen kosteuden (tiheyden) mittauksen tarkkuus selluhakkeella

VTT:n koelinja-ajot 2007–2008

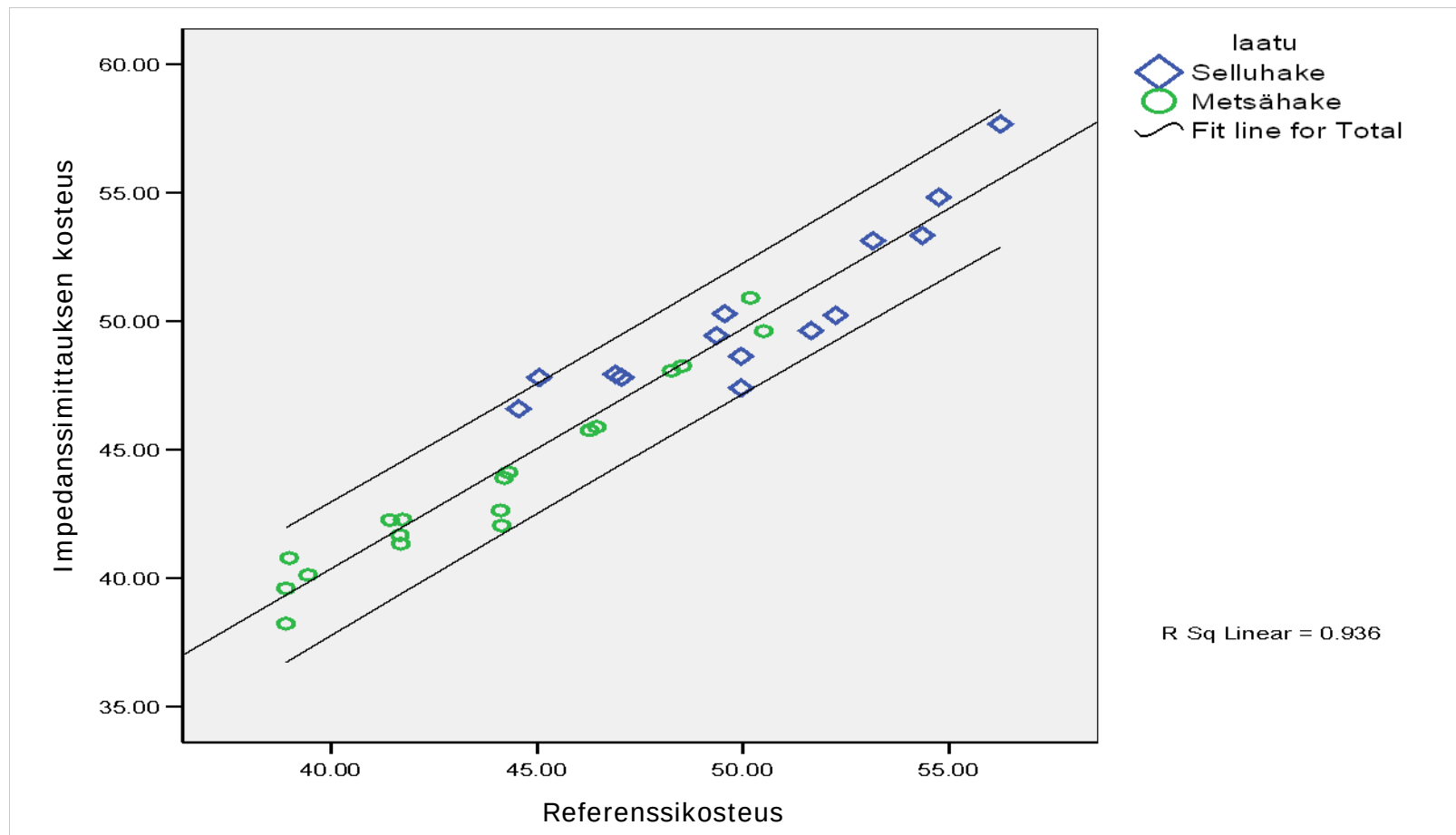
Am-mallista laskettu
kosteus, %

kosteuden erotuksien hajonta 2,23 %-yksikköä



Impedanssimittauksien tulokset sellu- ja metsähakkeilla

Kuopion yliopisto 2007

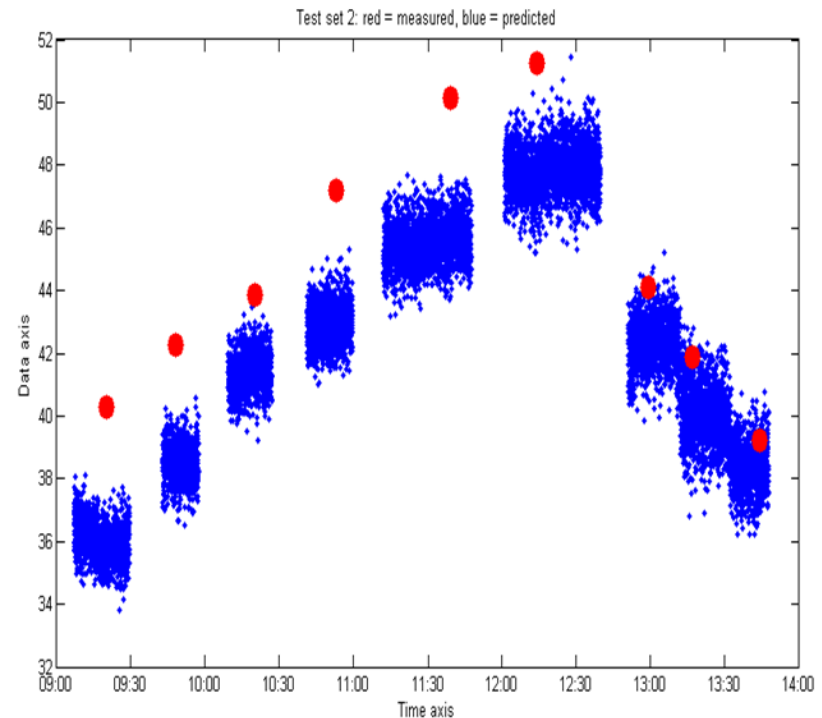
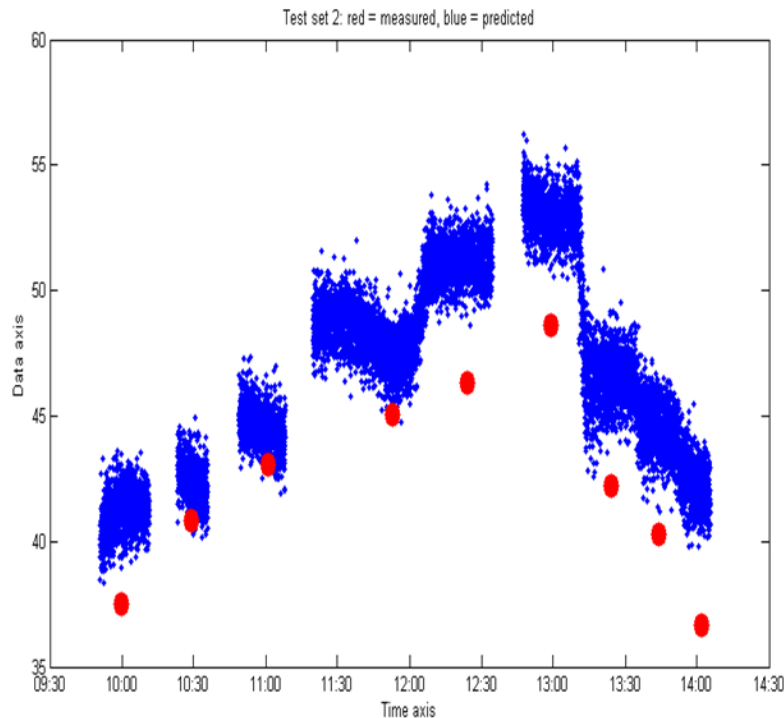


Metsähakkeen kosteuden on-line -mittauksen tulokset

- Metsähakkeella tulokset hajosivat enemmän kuin tasalaatuisella selluhakkeella.
- NIR-mallit näyttivät hyvin kosteuden kehittymisen suunnan, mutta niissä esiintyi systemaattista virhettä johtuen lähinnä pintamittauksesta. Mallien tarkkuus ja hajonta suhteessa sovitepistejoukkoon oli kuitenkin hyvä.
- Radiometrisessä mittauksessa kosteuden ennustetarkkuuteen tuli runsas 1 %-yksikkö lisää vaihtelua verrattuna selluhakkeeseen, jäinen hake ei juuri vaikuttanut mittaustulokseen.
- Impedanssimittauskin näytti suhteellisen tarkalta sulalla metsähakkeella, mutta jäisellä materiaalilla hajonta kasvoi.
- NIR- ja radiometrisen mittauksen yhteys muodostui hyväksi, mikä antaa pohjaa mittausten yhdistämiselle.

NIR-kosteusmallien testausta metsähakkeella

VTT:n koelinja-ajot 2007–2008



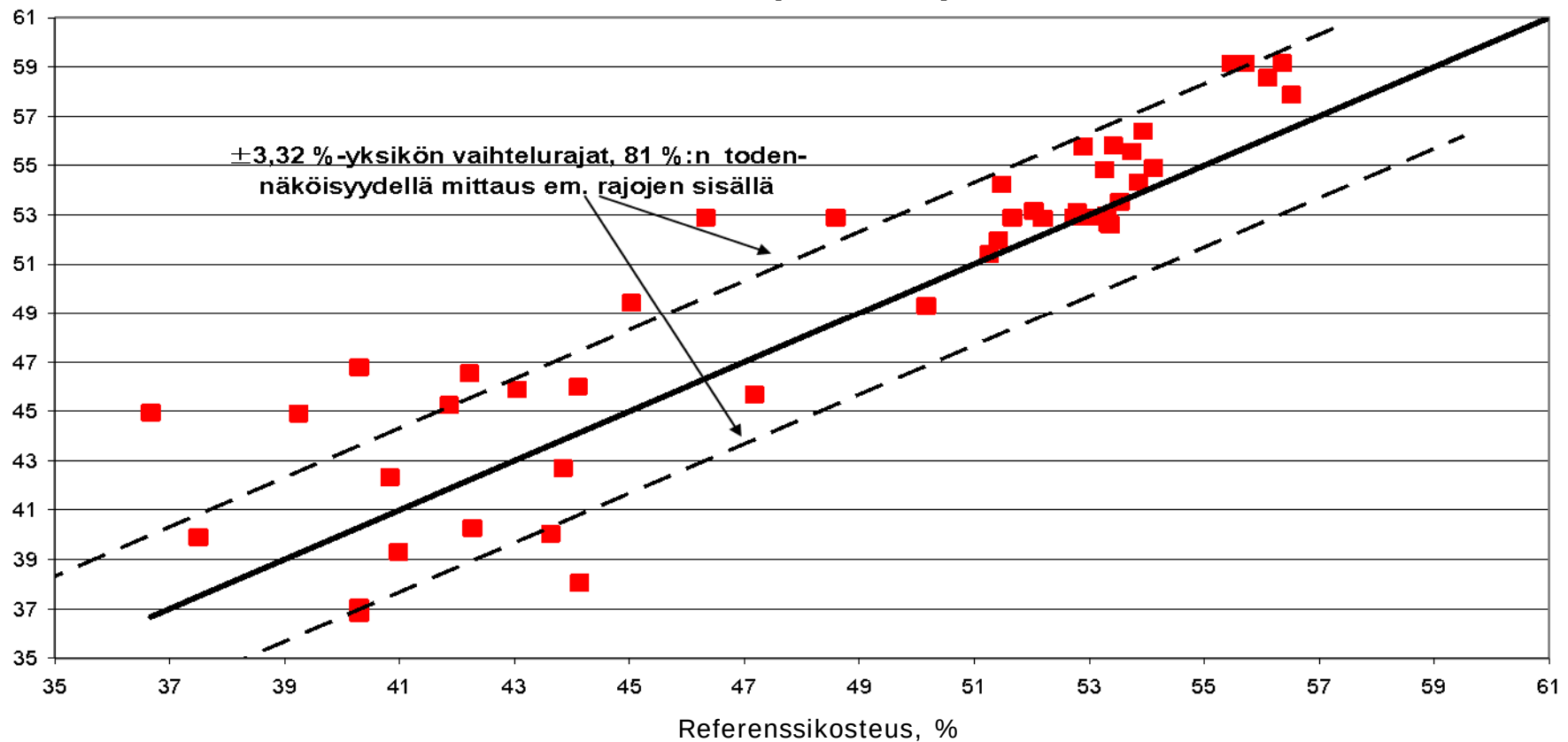
Mallista saatu kosteusennuste (**siniset** pisteet) ja referenssi (**punaiset** pallukat): vasemmalla ennustekosteudet säännöllisesti suurempia todennäköisesti siksi, että kosteampi hienoaines lajittunut hihnalla syvemmälle ja oikealla tilanne on päinvastainen, koska "lajittunutta ajoa" käytetty ennustemallina kosteammalle referenssille. Tilanne kuvaa NIR-mittauksen pintakosteusherkkyyttä.

Radiometrisen kosteudenmittauksen tarkkuus metsähakkeella

VTT:n koelinja-ajot 2007–2008

Cs-mallin perusteella
laskettu kosteus, %

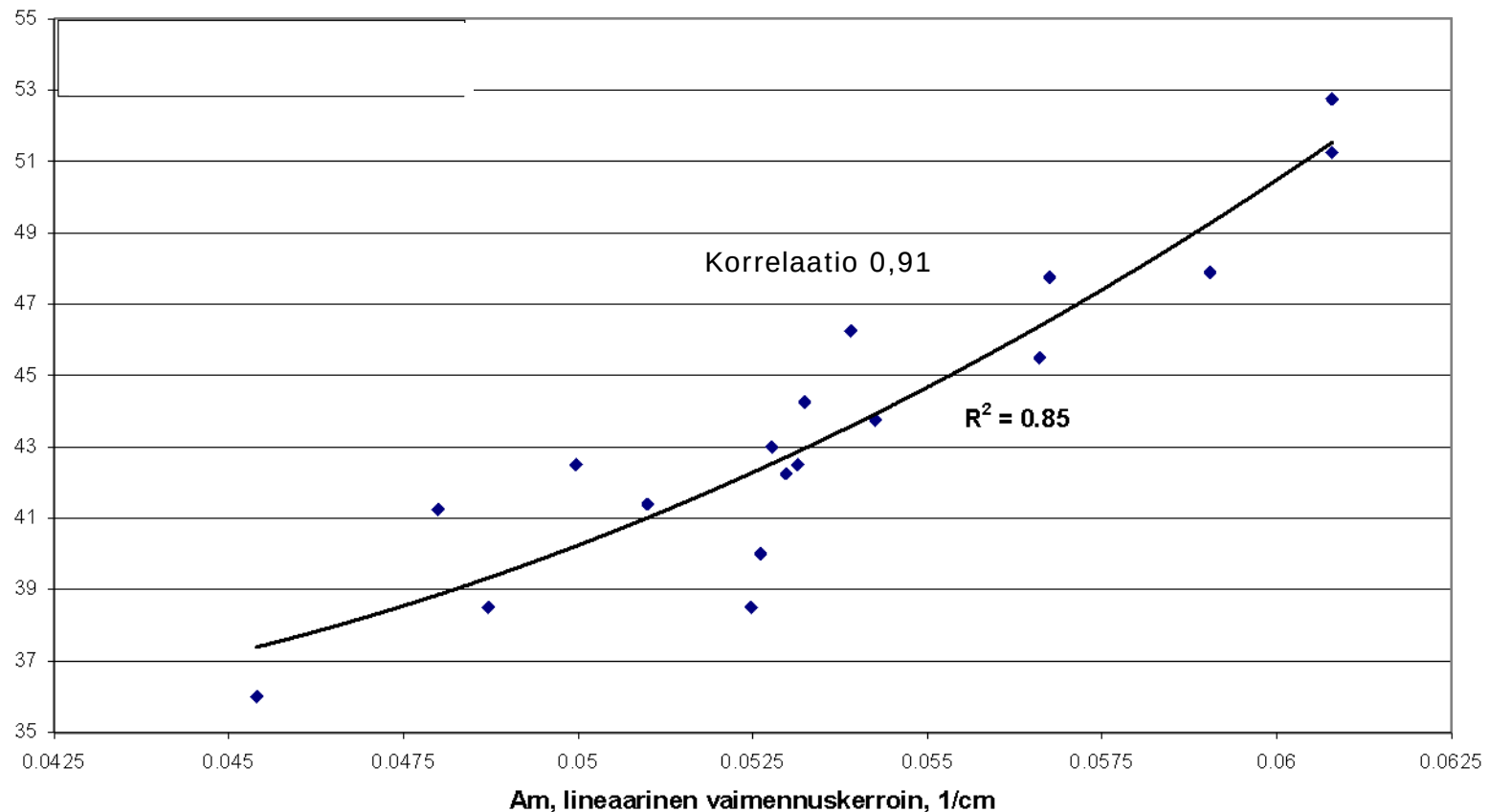
kosteuden erotuksien hajonta 3,32 %-yksikköä



NIR- ja radiometrisen kosteuden mittauksen yhteys metsähakkeella

"PLS" nir- ja Am-mittauksen välinen yhteys metsähakeajoissa 2007

NIR- kosteus, m- %



Johtopäätökset hakkeen kosteuden on-line -mittauksista

- Erilliset kosteusmittaukset (NIR, radiometrinen tiheys ja sähköiset menetelmät) riittävät jo useisiin käyttötarkoituksiin kun mittausolot ovat vakaat.
- Kun halutaan hyvää käytettävyyttä kaikissa oloissa ja kohtuullisen yksinkertaista kalibrointia, edullista hintaa ja lisää tarkkuutta, niin erilliset menetelmät yksinään eivät riitä.
- Ratkaisu tulee eri menetelmien yhdistämisen kautta, jolloin yksittäisten menetelmien puutteita voidaan korjata tai täydentää toisen avulla.
- Menetelmien yhdistämiseen on monia vaihtoehtoja.